

Научный журнал

Основан в 2005 г.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
ПИ № ФС77-61025 от 5 марта 2015 г.

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

Редакционная коллегия серии:

д-р биол. наук, проф. А.В. Зиновьев (*глав. редактор*);
д-р биол. наук, проф. А.Я. Рыжов;
действительный член РАН, д-р мед. наук, проф. В.М. Баранов;
д-р биол. наук, проф. А.Н. Панкрушина; д-р биол. наук В.И. Николаев;
д-р биол. наук, проф. М.Б. Петрова; д-р биол. наук, проф. Л.В. Алексеева;
д-р биол. наук Н.П. Александрова; д-р мед. наук, проф. Н.Н. Слюсарь;
д-р биол. наук, проф. Г.М. Зубарева; д-р биол. наук А.Д. Потёмкин;
д-р биол. наук, проф. Л.В. Маловичко; д-р биол. наук, проф. А.А. Нотов;
д-р биол. наук А.Ф. Мейсуро́ва; д-р биол. наук, проф. М.С. Игнатов;
д-р биол. наук Ю.К. Виноградова; канд. биол. наук, доц. Л.В. Петухова;
д-р мед. наук проф. И.И. Макарова; канд. биол. наук, доц. А.А. Емельянова;
д-р биол. наук, доц. В.В. Ивановский (Беларусь); канд. биол. наук, доц. Н.Е. Николаева;
канд. биол. наук, проф. С.М. Дементьева;
канд. биол. наук, доц. С.А. Иванова (*отв. секретарь*);
канд. физ.-мат. наук, доц. В.Е. Домбровская;
канд. биол. наук Д.И. Игнатьев (*техн. редактор*)

Адрес редакции:

Россия, 17002, г. Тверь, пр-т Чайковского, д. 70, каб. 201
Тел.: +7 (4822) 32-06-80

*Все права защищены. Никакая часть этого издания
не может быть репродуцирована без письменного разрешения издателя.*

© Тверской государственный
университет, 2024

Scientific Journal

Founded in 2005

Registered by the Federal Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media
PI № ФЦ77-6125 of March 5, 2015

Translated Title:

Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology

Founder:

Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education
«Tver State University»

Editorial Board of the Series:

D.Sc. in Biology, prof. A.V. Zinoviev (*editor-in-chief*);
D.Sc. in Biology, prof. A.Ya. Ryzhov;
Corresponding Member of RAMS, Dr. of Medical Sciences, prof. V.M. Baranov;
D.Sc. in Biology, prof. A.N. Pankrushina; D.Sc. in Biology, prof. V.I. Nikolaev;
D.Sc. in Biology, prof. M.B. Petrova; D.Sc. in Biology, prof. L.V. Alekseeva;
D.Sc. in Biology N.P. Aleksandrova; Dr. of Medical Sciences, prof. N.N. Slusar;
D.Sc. in Biology, prof. G.M. Zubareva; D.Sc. in Biology A.D. Potemkin;
D.Sc. in Biology, prof. L.V. Malovichko; D.Sc. in Biology, prof. A.A. Notov;
D.Sc. in Biology, assoc. prof. A.F. Meysurova; D.Sc. in Biology, prof. M.S. Ignatov;
D.Sc. in Biology, prof. A.E. Rodionova; D.Sc. in Biology Yu.K. Vinogradova;
Cand.Sc. in Biology, assoc. prof. L.V. Petukhova; Dr. of Medical Sciences, prof. I.I. Makarova;
Cand.Sc. in Biology, assoc. prof. A.A. Emelyanova;
D.Sc. in Biology, assoc. prof. V.V. Ivanovsky (Belarus);
Cand.Sc. in Biology, assoc. prof. N.E. Nikolaeva;
Cand.Sc. in Biology, prof. S.M. Dementyeva;
Cand.Sc. in Biology, assoc. prof. S.A. Ivanova (*executive secretary*);
Cand. of Physical and Technical Sciences, assoc. prof. V.E. Dombrovskaya;
Cand.Sc. in Biology D.I. Ignatiev (*technical editor*)

Editorial Office:

Office 201, 70, Chaikovsky prospekt, Tver, 170002, Russia
Tel.: +7 (4822) 32-06-80

*All rights reserved. No part of this publication
may be reproduced without the written permission of the publisher.*

© Tver State University, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ

М.В. Стогов, И.А. Потапова

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕСТА «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» НА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ СКЕЛЕТНОЙ ТРАВМЫ.....7

Л.А. Товмасын, Г.А. Севрюкова

ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАРНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У
ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ НА ФОНЕ ЛОКАЛЬНОГО
ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....19

БИОХИМИЯ

Н.Е. Куликова, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, М.А. Волчецкая

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ
ПРОДУЦЕНТА ЦЕЛЛЮЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ.....30

ЗООЛОГИЯ

А.А. Емельянова

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБСОЛЮТНЫХ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ
КИШЕЧНИКА И ЕГО ОТДЕЛОВ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ (*MYODES*
GLAREOLUS SCHREBER) (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ).....39

Н.Е. Николаева, А.А. Емельянова

РАЗВИТИЕ ОЧАГА ПОРАЖЕНИЯ ЯСЕНЕЙ Г. ТВЕРИ ЯСЕНЕВОЙ
ИЗУМРУДНОЙ ЗЛАТКОЙ *AGRILUS PLANIPENNIS* FAIRMAIRE
(COLEOPTERA: BUPRESTIDAE).....64

М.А. Чурсина, И.Я. Гричанов, О.О. Маслова

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЛОГЕНИЯ РОССИЙСКИХ ВИДОВ РОДА
DOLICHOPUS LATREILLE, 1796 (DIPTERA, DOLICHOPODIDAE).....82

БОТАНИКА

А.Т. Гребенникова, Л.В. Зуева, Е.А. Андреева

ЭКОЛОГИЯ И БИОМОРФОЛОГИЯ НЕДОТРОГИ
МЕЛКОЦВЕТКОВОЙ (*IMPATIENS PARVIFLORA* DC.).....94

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Л.В. Алексеева, П.С. Камынин

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ «SILACCESS»
НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
КРОВИ БЫЧКОВ.....107

<i>Л.В. Алексеева, Ф.Г. Деменик</i> ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «SILACCESS» НА ОБЩУЮ МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПИЩЕВАРИТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА.....	115
<i>Л.В. Зуева, Д.А. Мидоренко</i> СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ БИОЛГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА ТВГУ.....	123
<i>А.А. Нотов, А.Ф. Мейсурова., С.А. Иванова, В.А. Нотов</i> ПОЛЕМОХОРЫ КАК ТРИГГЕРНЫЙ ОБЪЕКТ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ	130

CONTENT

PHYSIOLOGY

M.V. Stogov, I.A. Potapova
ANALYSIS OF THE USE OF THE "OPEN FIELD" TEST
IN EXPERIMENTAL MODELS OF SKELETAL INJURY.....7

L.A. Tovmasyan, G.A. Sevriukova
SPECIFIC FEATURES OF REGIONAL BLOOD CIRCULATION
IN FOREIGN STUDENTS DURING LOCAL EXPOSURE TO COLD.....19

BIOCHEMISTRY

N.E. Kulikova, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva, M.A. Volchetskaya
STUDY OF CONDITIONS FOR THE PRODUCTION AND STORAGE
OF CELLULOLYTIC ENZYME PRODUCER.....30

ZOOLOGY

A.A. Emelyanova
VARIABILITY OF ABSOLUTE AND RELATIVE SIZE OF THE INTESTINE
AND ITS PARTS IN THE BANK VOLE (*MYODES GLAREOLUS*
SCHREBER) (TVER REGION).....39

N.E. Nikolaeva, A.A. Yemelyanova
THE DEVELOPMENT OF THE LESION OF THE ASH TREES
IN TVER CAUSED BY THE EMERALD ASH BORER *AGRILUS*
PLANIPENNIS FAIRMAIRE (COLEOPTERA: BUPRESTIDAE).....64

M.A. Chursina, I.Ya. Grichanov, O.O. Maslova
MOLECULAR PHYLOGENY OF RUSSIAN SPECIES THE GENUS
DOLICHOPUS LATREILLE, 1796 (DIPTERA, DOLICHOPODIDAE).....82

BOTANY

A.T. Grebennikova, L.V. Zueva, E.A. Andreeva
ECOLOGY AND BIOMORPHOLOGY OF THE SMALL BALSAM
(*IMPATIENS PARVIFLORA* DC.).....94

INTERDISCIPLINARY STUDIES

L.V. Alekseeva, P.S. Kamynin
THE EFFECT OF THE MINERAL SUPPLEMENT "SILACCESS"
ON MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS
BLOOD OF BULLS.....107

<i>L.V. Alekseeva, Ph.G. Demenik</i> THE EFFECT OF THE FEED ADDITIVE «SILACCESS» ON THE OVERALL DAIRY PRODUCTIVITY AND DIGESTIVE ACTIVITY OF CATTLE.....	115
<i>L.V. Zueva, D.A. Midorenko</i> CREATING AND USING THE MOBILE GIS APPLICATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE FACULTY OF BIOLOGY AT TVER STATE UNIVERSITY.....	123
<i>A.A. Notov, A.F. Meysurova, S.A. Ivanova, V.A. Notov</i> POLEMOCHORES AS A TRIGGER OBJECT IN SCIENCE AND EDUCATION.....	130

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.769

DOI: 10.26456/vtbio381

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕСТА «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ СКЕЛЕТНОЙ ТРАВМЫ*

М.В. Стогов, И.А. Потапова

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии
и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган

В представленном обзоре проведен анализ опыта применения теста «открытое поле» у лабораторных животных на экспериментальных моделях травмы органов опорно-двигательного аппарата. Поиск литературных данных проведен по открытым электронным базам данных научной литературы PubMed и eLIBRARY. Глубина поиска – 10 лет. По результатам проведенного поиска, согласно критериям включения/исключения, в анализ включено 27 литературных источников. Обнаружено, что тест «открытое поле» в основном используется на модели травмы органов центральной и периферической нервной системы. Также тест применяется на модели повреждения мягких тканей и внутренних органов. Найдено 6 исследований, в которых тест «открытое поле» был применен на экспериментальных моделях травмы органов опорно-двигательного аппарата. Анализ литературных данных указывает на то, что тест «открытое поле» может быть использован для оценки функции органов опорно-двигательного аппарата у лабораторных животных на моделях их травматического повреждения. Тест позволяет оценивать восстановления функции органов опорно-двигательного аппарата в динамике. Сроки восстановления функции, оцениваемые в данном тесте в целевых экспериментальных исследованиях, могут быть использованы в качестве конечной первичной точки эффективности, как наиболее сопоставимой с клиническими показателями.

Ключевые слова: лабораторные животные, тест «открытое поле», травма, опорно-двигательный аппарат.

Введение. Тест «открытое поле» в настоящее время широко используется для оценки поведенческих реакции лабораторных животных в доклинических исследованиях лекарственных препаратов (La-Vu et al., 2020; Meneses et al., 2023; Rosso et al., 2022). Достаточно часто

* Исследование выполнено в рамках государственного задания на осуществление научных исследований и разработок ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России.

данный тест используется также для изучения фундаментальных аспектов функции нервной системы (Han et al., 2023), в том числе в условиях внешнего воздействия на органы центральной и периферийной нервной системы (Кубрак и др., 2021; Cole et al., 2020; Lipatova, Campolattaro, Picone, 2019). При этом, опыт применения теста на экспериментальных моделях, которые не затрагивают нервную систему, по нашему мнению, недооценен. В частности, данный тест при оценке реакции организма на травму различного генеза позволяет, во-первых, интегрально оценить реакцию животных на внешнее воздействие, являющейся суммацией комплексных изменений на молекулярном, клеточном, тканевом и органном уровнях (оценка физиологических, биохимических, генетических и иных изменений не всегда дают такую возможность) (Modi, Parekh, Pancholi, 2023). Во-вторых, тест позволяет оценить индивидуальную реакцию организма на внешнее воздействие, что затруднительно при использовании иных методов (Чуян, Горная, 2010). В связи с этим применение теста «открытое поле» может дать достаточно важную информацию при его применении на большем, чем используется сейчас, числе экспериментальных моделей, в том числе и на моделях с травматическим повреждением органов опорно-двигательного аппарата (Прожерина, Широкова, 2016).

Цель обзора – анализ опыта применения теста «открытое поле» у лабораторных животных на экспериментальных моделях травмы органов опорно-двигательного аппарата.

Стратегия поиска литературных источников. Поиск литературных данных проведен по открытым электронным базам данных научной литературы PubMed и eLIBRARY. Для поиска использовали ключевые слова: «стресс», «открытое поле», «травма», «перелом», «кость», «injury», «openfield», «stress», «fracture», «bone» в различных сочетаниях. Глубина поиска – 10 лет.

Для проведения анализа и оценки литературных данных были определены критерии включения и исключения источников в исследование.

Критерии включения: 1. Наличие полнотекстовых источников или структурированной аннотации.

Критерии исключения: 1. Тезисы докладов, неопубликованные работы. 2. Исследования, имеющие признаки «дублирования» (схожий протокол исследования, группы и число пациентов и др.). В случае обнаружения «дублирующих» статей выбирали более поздний по дате публикации источник. 3. Статьи, в которых тест открытое поле был применен в рамках оценки фармакологических препаратов и биологически активных веществ.

Результаты и обсуждение. По результатам проведенного поиска, согласно критериям включения/исключения, в анализ нами включено 27 литературных источников (табл. 1-3). Все литературные источники были сгруппированы по экспериментальным моделям, при которых был применен тест «открытое поле».

Таблица 1

Применение теста «открытое поле» на моделях травмы органов центральной и периферической нервной системы

Ссылка	Модель	В ид	Сроки применения теста после травмы	Краткий результат
Шубина, Егорова, 2017	ЧМТ	К	24 часа	ДА↓, ГР↑
Aldrich et al., 2023	ПСМ	К	21 сутки	ДА↓
Bree, Stratton, Levy, 2020	ЧМТ	К	3,7,14 сутки	ДА↓
doEspirito Santo et al., 2019	ПСМ	К	1,7,14,21,28,35 сутки	ДА↓
Graham, Juzang, White, 2023	ЧМТ	К	14 неделя	ДА↓
Li et al., 2022	ЧМТ	К	В течение часа	ДА↓
Jeffery et al., 2020	ТСН	К	21 сутки	ДА↓
Medeiros et al., 2021	ЧМТ	М	1-3 час	ДА↓
Qin et al., 2022	ПСМ	К	1, 3 сутки, 1, 2, 3, 4, 6 неделя	ДА↓
Ruhl et al., 2023	ТСН	К	16 недель	изменений нет
Shavit-Stein et al., 2021	ЧМТ	К	12 часов, 1 неделя	изменений нет
Smith et al., 2023	ЧМТ	К	В течение часа	ДА↓
Stelfa et al., 2022	ЧМТ	М	6, 9, 12 месяцев	ДА↑ на 6 мес. ДА↓ на 9, 12 мес.
Walls et al., 2015	ЧМТ	К	24, 48 часа	изменений нет

Примечание: ЧМТ – черепно-мозговая травма, ПСМ – повреждение спинного мозга, ТСН – травма седалищного нерва; К – крысы, М – мыши; ДА – снижение (↓) или рост (↑) параметров оценивающих двигательную активность, ГР↑ – рост груминга.

Большая часть исследований (14 работ из 27), в которых тест был использован, содержала экспериментальную модель травмы органов центральной и периферической нервной системы (черепно-мозговая травма, повреждения спинного мозга и периферических нервов) (табл. 1). Реакция животных в тесте «открытое поле» в этих работах в основном была однотипна – большинство исследователей в разные сроки после травмы фиксировали снижение показателей двигательной активности (снижение числа перемещений, времени перемещения) и повышение тревожности (выход к центру) лабораторных животных. Хотя были и исследования, в которых изменения в тесте в посттравматическом периоде не обнаружены или обнаружена смена динамики (Stelfa et al., 2022). Очевидно, что применение теста при травмах органов нервной системы в основном направлено на изучение поведенческих признаков, позволяющих оценивать степень повреждения органов центральной и периферической нервной системы и оценки динамики их

восстановления. При этом, интерпретация данных теста на этих моделях проводится в основном применительно к оценке двигательной активности.

Вторая группа моделей (5 работ из 27 (Ажикова, Сомотруева, 2022; Кастыро и др., 2020; Larochelle et al., 2023) на которых применяется тест «открытое поле» - это модели повреждения мягких тканей и внутренних органов (табл. 2). Для этих экспериментальных моделей также отмечены аналогичные выше описанные изменения: снижение показателей двигательной активности и повышение тревожности. Однако, в этих работах авторы интерпретируют результаты теста в основном в части оценки тревожно-депрессивного состояния, и в меньшей степени для оценки двигательной активности. Эта интерпретация была характерна и для исследований (Li et al., 2023; Nakagawaab, Matsunagaa, Ishiwataa, 2020) в которых изучали влияние различных внешних факторов среды на лабораторных животных. Отдельно стоит выделить работу (Приймак и др., 2022), в которых отсутствие изменений в тесте «открытое поле» авторы связывают с широкой вариабельностью результатов теста, что требует проведения процедуры предварительного ранжирования экспериментальных животных по типам ответных реакций на тест перед началом эксперимента.

Таблица 2

Применение теста «открытое поле» на моделях травмы мягких тканей, внутренних органов, а также после воздействия внешних факторов среды

Ссылка	Модель	Вид	Сроки применения теста после травмы	Краткий результат
Ажикова, Сомотруева, 2022	Ожог кожи	К	2,4,7,10 сутки	ДА↓, ГР↑
Кастыро и др., 2020	ТСПН	К	48 часов	ДА↓, ГР↑
Приймак и др., 2022	Ушиб сердца	К	24 часа	изменений нет
Jian et al., 2019	Кожный дефект	К	3,6,9,12 сутки	ДА↓
Larochelle et al., 2023	Инфаркт миокарда	М	24,48 часов, 7,14,21 сутки	ДА↓
Li et al., 2023	Микроволновое излучение	К	6 часов, 1, 7, 14 сутки	ДА↓
Nakagawaab, Matsunagaa, Ishiwataa, 2020	Тепловая травма	К	В течение часа	ГР↑

Примечание: ТСПН – травма слизистой полости носа; К – крысы, М – мыши; ДА – снижение (↓) параметров оценивающих двигательную активность, ГР↑ – рост груминга.

И наконец, нами найдено 6 исследований, в которых тест «открытое поле» был применен на моделях травмы органов опорно-двигательного аппарата: в 4 исследованиях моделировали перелом большеберцовой кости и в 2 – разрыв вращательной манжеты плеча (табл. 3). Во всех представленных работах тест применен авторами для

оценки двигательной активности как производной функции поврежденных органов. Отмечено снижение показателей двигательной активности в ранние сроки после травмы, с последующим её ростом. В поздние сроки после травмы параметры двигательной активности не отличались от исходных значений (Shi et al., 2018). Во всех представленных в этом разделе работах срок восстановления двигательной активности использован авторами как первичный тест для оценки результата лечения.

Таблица 3

Применение теста «открытое поле» на моделях скелетной травмы

Ссылка	Модель	Вид	Сроки применения теста после травмы	Краткий результат
Park, Kwon, Lee, 2015	РВМП	КЛ	4 неделя	ДА↓
Peng et al., 2023	ПББК	М	2 часа, 7, 14, 21, 28 сутки	ДА↓
Sahbaie et al., 2018	ЧМТ+ББК	М	9 неделя	ДА↑ ♂; ДА↓ ♀
Sevivas et al., 2015	РВМП	К	16 неделя	ДА↓
Shi et al., 2018	ПББК	М	7,9 неделя	изменений нет
Wang et al., 2022	ПББК	К	1,3,7 сутки	ДА↓

Примечание: РВМП – разрыв вращательной манжеты плеча, ПББК – перелом большеберцовой кости, ЧМТ – черепно-мозговая травма; КЛ – кролики, К – крысы, М – мыши; ДА – снижение (↓) или рост (↑) параметров двигательной активности.

Представленный опыт позволяет говорить, что тест «открытое поле» применяется для широкого спектра экспериментальных моделей, которые воспроизводят травматическое повреждение различных органов. При этом литературные данные указывают на то, что данный тест может быть достаточно эффективно использован для оценки функции органов опорно-двигательного аппарата у лабораторных животных на моделях их травматического повреждения (тем более, как показывают результаты нашего поиска, в отечественной практике этот тест для данных моделей используется редко).

В этом плане дополнительным плюсом применения теста «открытое поле» на моделях скелетной травмы могут быть следующие обстоятельства: 1) тест воспроизводим, исходя из данных литературы, и на более крупных, чем крысы и мыши, лабораторных животных (кролики (Park, Kwon, Lee, 2015; Trocino et al., 2019)) и редких объектах (например, рыбы (Hogzmann et al., 2022)); 2) несмотря на то, что результаты теста достаточно однотипны (как правило, это снижение параметров двигательной активности после травмы), он позволяет оценивать восстановление функции опорно-двигательной системы в динамике. Этот момент, по нашему мнению, гораздо важнее для аппроксимации результатов эксперимента в практику, т.к. позволяет в динамике количественно оценить эффективность разрабатываемых технологий и мероприятий. 3) разнообразие в интерпретации теста – от

оценки исключительно двигательной активности до оценки психологической составляющей ответа организма на травму. В частности, литературные данные показывают, что оценка результатов теста «открытое поле» при различных экспериментальных моделях акцентируется на разные аспекты: при повреждениях органов нервной системы – это поведенческие и двигательные реакции, при травме мягких тканей и внутренних органов – это поведенческие реакции, при скелетных травма – двигательная активность.

Как показывают литературные данные, важным моментом при применении теста являются условия и параметры экспериментальных моделей при которых используется тест. Так, использование теста в отдаленные периоды после скелетной травмы может быть не информативным, т.к. восстановление целостности и функции травмированного органа может у животных происходить ранее сроков тестирования, пример этому – исследование (Shi et al., 2018). Тем не менее, некоторые исследователи применяют тест и в отдаленные сроки после травмы для оценки отсроченных эффектов поведенческих реакций животных (Leconte et al., 2020; Popovitz, Mysore, Adwanikar, 2019).

Отмечено, что использование теста для оценки двигательной активности экспериментальных животных после скелетной травмы более информативно для моделей с повреждениями костей задней конечности. Так, наблюдения показывают, что тест «открытое поле» может быть нечувствительным к выявлению изменений в функции плеча крыс, т.к. в этом случае двигательная функция может быть компенсирована за счет переносы животными нагрузки на задние конечности (Liu et al., 2020).

Помимо выше указанных особенностей использования теста отдельные авторы также указывают на различия результатов теста от пола и возраста экспериментальных животных (Sahbaie et al., 2018; Doran et al., 2019; Foertsch et al., 2017; Li et al., 2022). Этот фактор, несомненно, должен быть учтен при применении теста.

Анализ опыта применения теста «открытое поле» выявил ряд факторов, которые можно отнести к ограничивающим. В частности, отдельные авторы к ограничениям теста относят то, что его результаты в группах животных могут быть достаточно вариабельны (Jeffery et al., 2020), что, тем не менее, может нивелироваться использованием теста в совокупности с другими тестами оценки функции животных (Lassarén et al., 2023). Другой ограничивающий фактор - сложность интерпретации (Lipp, Wolfer, 2022). Действительно отмеченное нами в литературе разнообразие в интерпретации теста может рассматриваться как определенная сложность, т.к. повышает неопределенность оценки его результатов. Однако, если рассматривать

результаты теста в динамике, эта неопределенность может быть несколько уменьшена.

Несомненно, для полного понимания механизмов, лежащих в основе реакции организма животных на травму и проводимое лечение использования теста «открытое поле» недостаточно, однако как тест оценки системной реакции организма на травму на уровне целостного организма такое тестирование выглядит необходимым.

Заключение. Результаты выполненного литературного обзора однозначно демонстрируют возможности применения теста «открытое поле» для оценки функции органов опорно-двигательного аппарата при моделировании скелетной травмы у экспериментальных животных. Тест, прежде всего, позволяет оценивать восстановление двигательной функции в динамике. В этом плане сроки восстановления функции, оцениваемые в данном тесте в целевых экспериментальных исследованиях, могут быть использованы в качестве конечной первичной точки эффективности, как наиболее сопоставимой с клиническими показателями. Это повысит ценность доклинических исследований и будет способствовать более точной аппроксимации доклинических данных в клиническую практику.

Список литературы

- Ажикова А.К., Самокруева М.А.* 2022. Интенсивность окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс при ожоговом повреждении кожи // Вестн. РУДН. Сер. Медицина. № 26 (3). С. 274-288.
- Кастыро И.В., Решетов И.В., Хамидулин Г.В., Шмаевский П.Е., Карпухина О.В., Иноземцев А.Н., Торшин В.И., Ермакова Н.В., Попадюк В.И.* 2020. Влияние хирургической травматизации в полости носа на поведение в открытом поле и вегетативную нервную систему крыс // Доклады Рос. акад. наук. Науки о жизни. № 492 (1). С. 272-275.
- Кубрак Н.В., Варсегова Т.Н., Краснов В.В., Рябых С.О.* 2021. Результаты применения противовоспалительного геля после моделирования контузионного повреждения спинного мозга у крыс // Гений ортопедии. № 27 (6). С. 782-788.
- Приймак А.Б., Корпачева О.В., Золотов А.Н., Ключникова Е.И.* 2022. Методика ранжирования крыс по стрессоустойчивости и определения объема выборки при экспериментальном ушибе сердца // Современ. проблемы науки и образования. № 4. С. 120.
- Прожерина Ю., Широкова И.* 2016. Когда тревога становится болезнью // Ремедиум. № 5. С. 32-38.
- Чуян Е.Н., Горная О.И.* 2010. Поведенческие реакции животных с разным профилем моторной асимметрии в условиях хронического и острого

- стресса (часть 1) // Ученые записки Таврического национ. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: Биология, химия. Т. 23 (62). С. 194-204.
- Шубина О.С., Егорова М.В.* 2017. Изменение поведения крыс при интоксикации свинцом и черепно-мозговой травме в тесте «Открытое поле» // *E-SCIO*. № 9 (12). С. 7-13.
- Aldrich J.C., Scheinfeld A.R., Lee S.E., Mahach K.M., Van de Veire B.C., Fonken L.K., Gaudet A.D.* 2023. Effects of circadian disruption via dim light at night in C57BL/6J mice on recovery after spinal cord injury // bioRxiv. <https://doi/10.1101/2023.09.15.557980>.
- Bree D., Stratton J., Levy D.* 2020. Increased severity of closed head injury or repetitive subconcussive head impacts enhances post-traumatic headache-like behaviors in a rat model // *Cephalalgia*. V. 40 (11). P. 1224-1239.
- Cole E., Ziadé J., Simundic A., Mumby D.G.* 2020. Effects of perirhinal cortex and hippocampal lesions on rats' performance on two object-recognition tasks // *Behav Brain Res*. V. 381. 112450.
- doEspírito Santo C.C., da Silva Fiorin F., Ilha J., Duarte M.M.M.F., Duarte T., Santos A.R.S.* 2019. Spinal cord injury by clip-compression induces anxiety and depression-like behaviours in female rats: The role of the inflammatory response // *Brain Behav Immun*. V. 78. P. 91-104.
- Doran S.J., Ritzel R.M., Glaser E.P., Henry R.J., Faden A.I., Loane D.J.* 2019. Sex Differences in Acute Neuroinflammation after Experimental Traumatic Brain Injury Are Mediated by Infiltrating Myeloid Cells // *J Neurotrauma*. V. 36. № 7. P. 1040-1053.
- Foertsch S., Haffner-Luntzer M., Kroner J., Gross F., Kaiser K., Erber M., Reber S.O., Ignatius A.* 2017. Chronic psychosocial stress disturbs long-bone growth in adolescent mice // *Dis Model Mech*. V. 10 (12). P. 1399-1409.
- Graham M.A., Juzang P.T., White T.E.* 2023. Effects of repetitive mild traumatic brain injury on weight gain and chronic behavioral outcomes in male rats // *PLoS One*. V. 18 (7). P. 1-16.
- Han C.Z., Donoghue T., Cao R., Kunz L., Wang S., Jacobs J.* 2023. Using multi-task experiments to test principles of hippocampal function // *Hippocampus*. V. 33. № 5. P. 646-657.
- Horzmann K.A., Lin L.F., Taslakjian B., Yuan C., Freeman J.L.* 2022. Anxiety-related behavior and associated brain transcriptome and epigenome alterations in adult female zebrafish exposed to atrazine during embryogenesis // *Chemosphere*. V. 308 (3). 136431.
- Jeffery N.D., Brakel K., Aceves M., Hook M.A., Jeffery U.B.* 2020. Variability in Open-Field Locomotor Scoring Following Force-Defined Spinal Cord Injury in Rats: Quantification and Implications. // *Front Neurol*. V. 11. 00650.
- Jian J., Yi-Heng H., Bang-Hui Z., Jian-Hua C., Xu-Dong Z., Shi-Chu X., Peng-Fei L., Xiao-Yan H., Zhao-Fan X.* 2019. Effects of depression on healing and inflammatory responses of acute wounds in rats // *Wound Repair Regen*. V. 27 (5). P. 462-469.
- Larochelle J., Tishko R.J., Yang C., Ge Y., Phan L.T., Gunraj R.E., Stansbury S.M., Liu L., Mohamadzadeh M., Khoshbouei H., Candelario-Jalil E.* 2023. Receptor-interacting protein kinase 2 (RIPK2) profoundly contributes to post-

- stroke neuroinflammation and behavioral deficits with microglia as unique perpetrators // *J Neuroinflammation*. V. 20 (1). 221.
- Lassarén P., Conley G., Boucher M.L., Conley A.N., Morriss N.J., Qiu J., Mannix R.C., Thelin E.P.* 2023. Optimizing choice and timing of behavioral outcome tests after repetitive mild traumatic brain injury: a machine learning-based approach on multiple pre-clinical experiments // *J Neurotrauma*. V. 40 (15-16). P. 1762-1778.
- La-Vu M., Tobias B.C., Schuette P.J., Adhikari A.* 2020. To approach or avoid: an introductory overview of the study of anxiety using rodent assays // *Front Behav Neurosci*. V. 14. 00145.
- Leconte C., Benedetto C., Lentini F., Simon K., Ouazizi C., Taib T., Cho A., Plotkine M., Mongeau R., Marchand-Leroux C., Besson V.C.* 2020. Histological and behavioral evaluation after traumatic brain injury in mice: a ten months follow-up study // *J Neurotrauma*. V. 37. № 11. P. 1342-1357.
- Lipatova O., Campolattaro M.M., Picone J.A.* 2019 Fornix lesions impair place-, but not response-learning in the open-field tower maze // *Neurobiol Learn Mem*. V. 167. 107134.
- Li D., Xu X., Yin Y., Yao B., Dong J., Zhao L., Wang H., Wang H., Zhang J., Peng R.* 2023. Physiological and psychological stress of microwave radiation-induced cardiac injury in rats // *Int J Mol Sci*. V. 24 (7). 6237.
- Li Y., Ritzel R.M., Lei Z., Cao T., He J., Faden A.I., Wu J.* 2022. Sexual dimorphism in neurological function after SCI is associated with disrupted neuroinflammation in both injured spinal cord and brain // *Brain Behav Immun*. V. 101. P. 1-22.
- Lipp H.P., Wolfer D.P.* 2022. Behavior is movement only but how to interpret it? Problems and pitfalls in translational neuroscience—a 40-year experience // *Front Behav Neurosci*. V. 16. 958067.
- Liu Y., Fu S.C., Leong H.T., Ling S.K., Oh J.H., Yung P.S.* 2020. Evaluation of animal models and methods for assessing shoulder function after rotator cuff tear: A systematic review // *J Orthop Translat*. V. 26. P. 31-38.
- Liu Y., Wang T., Zhang C., Cai J.* 2023. Rat Model of Closed-Head Mild Traumatic Injury and its Validation // *J Vis Exp*. V. 199. 65849.
- Meneses C., Valdes-Gonzalez M., Garrido-Suárez B.B., Garrido G.* 2023. Systematic review on the anxiolytic and hypnotic effects of flower extracts in in vivo pre-clinical studies published from 2010 to 2020 // *Phytother Res*. V. 37. № 5. P. 2144-2167.
- Medeiros P., Dos Santos I.R., Júnior I.M., Palazzo E., da Silva J.A., Machado H.R., Ferreira S.H., Maione S., Coimbra N.C., de Freitas R.L.* 2021. An Adapted Chronic Constriction Injury of the Sciatic Nerve Produces Sensory, Affective, and Cognitive Impairments: A Peripheral Mononeuropathy Model for the Study of Comorbid Neuropsychiatric Disorders Associated with Neuropathic Pain in Rats // *Pain Med*. V. 22. № 2. P. 338-351.
- Modi A.D., Parekh A., Pancholi Y.N.* 2023. Evaluating pain behaviours: Widely used mechanical and thermal methods in rodents // *Behav Brain Res*. V. 446. 114417.

- Nakagawaab H., Matsunagaa D., Ishiwataa T.* 2020. Effect of heat acclimation on anxiety-like behavior of rats in an open field // *Journal of Thermal Biology*. V. 87. 102458.
- Park G.Y., Kwon D.R., Lee S.C.* 2015. Regeneration of full-thickness rotator cuff tendon tear afterultrasound-guided injection with umbilical cord blood-derived mesenchymalstem cells in a rabbit model // *Stem Cell Transl Med*. V. 4. № 11. P. 1344-1351.
- Peng J., Xiao S., Xie J., Fu W.* 2023. Bulleyaconitine A reduces fracture-induced pain and promotes fracture healing in mice // *Front Pharmacol*. V. 14 (1-9). 1046514.
- Pinkowski N.J., Fish B., Mehos C., Carlson V.L., Hess B.R., Mayer A., Morton R.* 2023. Spreading Depolarizations Contribute to the Acute Behavior Deficits Associated with a Mild Traumatic Brain Injury in Mice // *J Neurotrauma*. <https://doi/10.1089/neu.2023.0152>.
- Popovitz J., Mysore S.P., Adwanikar H.* 2019. Long-Term Effects of Traumatic Brain Injury on Anxiety-Like Behaviors in Mice: Behavioral and Neural Correlates // *Front Behav Neurosci*. V. 13. 00006.
- Qin C., Liu Y., Xu P.P., Zhang X., Talifu Z., Liu J.Y., Jing Y.L., Bai F., Zhao L.X., Yu Y., Gao F., Li J.J.* 2022. Inhibition by rno-circRNA-013017 of the apoptosis of motor neurons in anterior horn and descending axonal degeneration in rats after traumatic spinal cord injury // *Front Neurosci*. V. 16. 1065897.
- Rosso M., Wirz R., Loretan A.V., Sutter N.A., Pereira da Cunha C.T., Jaric I., et al.* 2022. Reliability of common mouse behavioural tests of anxiety: A systematic review and meta-analysis on the effects of anxiolytics // *NeurosciBiobehav Rev*. V. 143. 104928.
- Ruhl T., Christer T., Rhode S.C., Beier J.P.* 2023. Time course of functional recovery after 1 cm sciatic nerve resection in rats with or without surgical intervention - measured by grip strength and locomotor activity // *Neurosci Res*. V. 190. P. 78-84.
- Sahbaie P., Tajerian M., Yang P., Irvine K.A., Huang T.T., Luo J., Wyss-Coray T., Clark J.D.* 2018. Nociceptive and Cognitive Changes in a Murine Model of Polytrauma // *J Pain*. V. 19. № 12. P. 1392-1405.
- Sevivas N., Serra S.C., Portugal R., Teixeira F.G., Carvalho M.M., Silva N.* 2015. Animal model for chronic massive rotator cuff tear: behavioural and histologic analysis // *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc*. V. 23 (2). P. 608-618.
- Shavit-Stein E., Gerasimov A., Aharoni S., Gofrit S.G., Pikus E., Pick C.G., Maggio N.* 2021. Unexpected role of stress as a possible resilience mechanism upon mild traumatic brain injury (mTBI) in mice // *Mol Cell Neurosci*. V. 111. 103586.
- Shi X., Guo T.Z., Li W., Sahbaie P., Rice K.C., Sulima A., Clark J.D., Kingery W.S.* 2018. Exercise Reverses Nociceptive Sensitization, Upregulated Neuropeptide Signaling, Inflammatory Changes, Anxiety, and Memory Impairment in a Mouse Tibia Fracture Model // *Anesthesiology*. V. 129 (3). P. 557-575.
- Smith A.M., Warfield Z.J., Johnson S.L., Hulitt A.A., Rüedi-Bettschen D., Santos Christiano D.S.E., Grayson B.E.* 2023. High-Fat Diet Exacerbates Stress

- Responsivity in Juvenile Traumatic Brain Injury // *J Neurotrauma*. V. 40 (11-12). P. 1216-1227.
- Stelfa G., Svalbe B., Vavers E., Duritis I., Dambrova M., Zvejniece L.* 2022. Moderate traumatic brain injury triggers long-term risks for the development of peripheral pain sensitivity and depressive-like behavior in mice // *Front Neurol*. V. 13. 98589519.
- Trocino A., Zomeño C., Filiou E., Biolo M., White P., Xiccato G.* 2019. The Use of Environmental Enrichments Affects Performance and Behavior of Growing Rabbits Housed in Collective Pens // *Animals (Basel)*. V. 9. № 8. 537.
- Walls M.K., Race N., Race N., Vega-Alvarez S.M., Acosta G., Park J., Shi R.* 2015. Structural and biochemical abnormalities in the absence of acute deficits in mild primary blast-induced head trauma // *J Neurosurg*. V. 124. № 3. P. 675-686.
- Wang B., Yin Z., Lin Y., Deng X., Liu F., Tao H., Dong R., Lin X., Bi Y.* 2022. Correlation between microRNA-320 and postoperative delirium in patients undergoing tibial fracture internal fixation surgery // *BMC Anesthesiol*. V. 22 (1). 75.

ANALYSIS OF THE USE OF THE “OPEN FIELD” TEST IN EXPERIMENTAL MODELS OF SKELETAL INJURY

M.V. Stogov, I.A. Potapova

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics,
Kurgan

Here we analyze the experience of using the “open field” test in laboratory animals on experimental models of trauma to the musculoskeletal system. The literature search was carried out using open electronic scientific literature databases PubMed and eLIBRARY. Search depth is 10 years. Based on the results of the search, according to the inclusion/exclusion criteria, 27 literature sources were included in the analysis. It has been found that the open field test is mainly used in the model of injury to the organs of the central and peripheral nervous system. The test is also used on models of damage to soft tissues and internal organs. We found 6 studies in which the open field test was applied to experimental models of musculoskeletal trauma. Analysis of literature data indicates that the “open field” test can be used to assess the function of the musculoskeletal system in laboratory animals using models of traumatic injury. The test allows you to evaluate the restoration of the function of the musculoskeletal system over time. The time to functional recovery assessed by this test in targeted experimental studies can be used as a primary efficacy end point as most comparable to clinical measures.

Keywords: *laboratory animals, open field test, trauma, musculoskeletal system.*

Об авторах:

СТОГОВ Максим Валерьевич – доктор биологических наук, доцент, руководитель отдела, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, e-mail: stogo_off@list.ru.

ПОТАПОВА Ирина Андреевна – аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, e-mail: irinabondar93@mail.ru

Стогов М.В. Анализ применения теста «открытое поле» на экспериментальных моделях скелетной травмы / М.В. Стогов, И.А. Потапова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 7-18.

Дата поступления рукописи в редакцию: 12.12.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

УДК 612.15

DOI: 10.26456/vtbio382

ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАРНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ НА ФОНЕ ЛОКАЛЬНОГО ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Л.А. Товмасын, Г.А. Севрюкова

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград

Работа посвящена оценке показателей регионарного кровообращения у иностранных студентов на фоне локального холодового воздействия. Регистрировались реограммы верхних конечностей в регионе «Предплечье – Кисть» в состоянии покоя, на фоне локального холодового воздействия на кисть левой руки и в период восстановления (1-3-5 минуты). Фоновая асимметрия кровообращения в регионе «Предплечье – Кисть» характеризовалась снижением тонуса крупных артерий и компенсаторным повышением венозного оттока справа. В сегменте «Кисть» слева кратковременное снижение тонуса сосудистой стенки прекапилляров на холодовое воздействие сменялось приспособительными реакциями кровотока в первую минуту восстановления. К 5 минуте восстановления не было обнаружено значимой дилатации сосудов слева. Авторами предложен индекс реактивности сосудов и определены показатели реовазографии как информативные критерии индивидуально-типологических различий адаптивной реакции организма иностранных студентов на холодовое воздействие.

***Ключевые слова:** реовазография верхних конечностей, регионарное кровообращение, холодовая проба, адаптация иностранных студентов.*

Введение. В российских вузах от года к году растет экспорт образовательных услуг. Вопросам социокультурной адаптации уделяется достаточное внимание и неоспорим тот факт, что успешной долговременной социокультурной адаптации иностранных студентов, приезжающих в Россию для обучения, предшествует срочная адаптация к климатическим условиям региона проживания, эффективность пролонгирования которой зависит от физиологической адаптации жизнеобеспечивающих систем (Нарутдинов и др., 2021, Гудков и др., 2012., Fedotova, 2021, Khomushku et al., 2020). Волгоградский регион характеризуется резко-континентальным климатом, сезонным температурным перепадом от $-20,0 \pm 15,2$ С° зимой до $35,0 \pm 15,7$ С° летом. Суточные колебания температуры в осенне-весенний период могут достигать 8-12 С° и являются

нежелательными для организма (Аверьянова, 2021, Аверьянова и др., 2023, Коробицына, 2023), особенно, для организма иностранных студентов (Ibrahim et al., 2023), приезжающих в Волгоградский регион из стран с тёплым климатом. Известно, что одной из первых в реакции адаптации целостного организма включается система кровообращения, которая обеспечивает метаболические запросы организма, участвует в кислородтранспортном каскаде, реализует температурный гомеостаз (Son et al, 2019, Коробицына и др., 2021). В связи с чем, целью исследования явилась оценка показателей регионарного кровообращения у иностранных студентов на фоне локального холодового воздействия с помощью реовазографии верхних конечностей.

Методика. В исследовании с соблюдением принципа информированного согласия приняли участие индийские студенты Волгоградского государственного медицинского университета ($n = 36$ юношей; в возрасте 19-21 год). Выполнение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ВолгГМУ (протокол № 2022/154 от 03.11.2022). Исследования проводились в осенний период в помещении с температурой комфорта (19-22°C) в первой половине дня. При проведении реовазографии (РВГ, «Рео-Спектр 2»; производитель компания «Нейрософт», г. Иваново, Россия) в регионе «Предплечье – Кисть» применялась технология продольного наложения ленточных электродов из электропроводящей ткани, смоченных физиологическим раствором. Проксимальный электрод накладывался в области локтевой ямки, «общий» электрод – на лучезапястный сустав и дистальный электрод – в области основания пальцев кисти левой руки вокруг тыльно-ладонной поверхности.

Холодовая проба (ХП) включала три последовательных этапа: 1) регистрация фоновых показателей РВГ в регионе «Предплечье – Кисть»; 2) регистрация изучаемых показателей РВГ на фоне локального холодового воздействия; 3) регистрация изучаемых показателей РВГ после локального холодового воздействия на 1, 3 и 5 минутах восстановительного периода.

На всех этапах исследования обследуемые находились в положении сидя, в состоянии спокойного бодрствования. Локальное холодовое воздействие достигалось погружением кисти левой руки в холодную воду (4°C на 4 мин) (Аверьянова, 2021). Анализ показателей РВГ включал левостороннее и правостороннее динамическое сопоставление показателей в динамике ХП, а также симметричное сравнение – сопоставление степени отклонения показателей на фоне локального холодового воздействия с использованием предложенного авторами индекса реактивности сосудов (ИРС, $y.e. = \ln (B_{1,3,5} / ХП)$, где $B_{1,3,5}$ – показатели РВГ, полученные в период восстановления на

1, 3 и 5 минутах; ХП – показатель РВГ, полученный на пике холодовой пробы; знаки «-» и «+» показывают направленность изменений – уменьшение или увеличение исследуемого параметра кровотока).

Анализ РВГ в регионе «Предплечье – Кисть» проводился по амплитудно-частотному показателю ($АПЧ = \text{РИ} / \text{Ткардио}$, у.е.; РИ – реографический индекс, у.е., Ткардио – длительность кардиоцикла, с), модулю упругости ($МУ = \alpha / \text{Ткардио}$, %; α – время восходящей части волны, с), индексу быстрого наполнения ($\text{ИБН} = \text{Асист} / \text{Аарт}$, %; Аарт – амплитуда артериальной составляющей волны, Ом, Асист – амплитуда волны, соответствующая наиболее выраженному пику первой производной, Ом), дикротическому индексу ($\text{ДИК} = \text{Аинц} / \text{Аарт}$, %; Аинц – амплитуда реограммы на уровне инцизуры), соотношению «притока-оттока» ($\text{П-О} = \alpha / \text{Ткат}$, у.е.; Ткат – длительность катакроты, с), показателю венозного оттока (ПВО, %).

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного пакета IBM SPSS, v. 26.0. В большинстве случаев распределение признаков не подчинялось закону нормального распределения, в связи с чем, в работе для сравнения двух связанных выборок применялся непараметрический критерий Вилкоксона (медиана (Me), первый – третий квартили (Q1; Q3), для сравнения К-связанных выборок – ранговый дисперсионный анализ Фридмана с поправкой Бонферрони, так как ХП включала 5 этапов. В качестве статистически значимого уровня принимались значения $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. По данным нашего исследования фоновые показатели РВГ в регионе «Предплечье – Кисть» у индийских студентов находились в пределах физиологической нормы. Сравнительный анализ фоновых данных РВГ справа и слева позволил выявить значимые различия показателей тонуса и эластичности сосудов в сегменте «Предплечье», а именно, снижен тонус артериального русла и повышен венозный тонус справа по показателям, характеризующим модуль упругости (здесь и далее по тексту данные представлены в соотношении Q1 – Me – Q3; слева 10,3 – 11,09 – 13,5; справа 7,23 – 11,00 – 11,3; $p = 0,005$), тонус крупных артерий (слева 35,4 – 40,5 – 43,8; справа 38,5 – 50,0 – 52,2; $p = 0,009$), соотношение «приток-отток» (слева 0,11 – 0,123 – 0,154; справа 0,079 – 0,116 – 0,133; $p = 0,009$). Данный факт не противоречит существованию асимметричности функционирования парных органов и участков организма (Кулакова и др., 2012 и определяется преобладающей регуляцией сосудистого тонуса одним из отделов вегетативной нервной системы (симпатическим, парасимпатическим). По нашему мнению, полученные результаты с одной стороны, требуют проведения дальнейших исследований и с другой – возможно,

характеризуют функциональную асимметрию кровоснабжения верхних конечностей, обусловленную доминирующим участием одной из рук в повседневной жизни.

При локальном холодовом воздействии на кисть левой руки отмечалось изменение показателей кровотока в регионе «Предплечье – Кисть» не только с левой стороны, но и с правой. При этом наиболее значимые отклонения по АЧП, характеризующему интенсивность артериального кровотока выявлены с правой стороны к 5 минуте ВП. Так, в сегменте «Предплечье» справа отмечалось повышение АЧП на 5 минуте ВП (1,204 – 1,243 – 2,129) относительно АЧП на пике холодной пробы (0,775 – 1,486 – 1,756; $p = 0,043$), а также относительно АЧП на 3 минуте ВП (1,095 – 1,324 – 1,69; $p = 0,002$) и слева – на уровне тенденций по таковым показателям $p = 0,052$. В сегменте «Кисть» также отмечалось повышение АЧП к 5 минуте ВП после локальной холодной стимуляции: справа АЧП_{В5} (1,171 – 1,502 – 2,265) относительно АЧП_{ХП} (0,645 – 1,204 – 1,929; $p = 0,0001$), АЧП_{В1} (1,043 – 1,175 – 2,097; $p = 0,0001$) и слева АЧП_{В5} (0,904 – 1,068 – 1,449) относительно АЧП_{В1} (0,736 – 0,971 – 1,061; $p = 0,001$), АЧП_{В3} (0,936 – 1,054 – 1,33; $p = 0,043$).

Интересными для понимания функциональных возможностей системы кровообращения оказались результаты сравнения индексов реактивности сосудов (ИРС, у.е.), рассчитанных по сегменту «Кисть». При локальном холодовом воздействии на кисть левой руки выявлены адекватные зональные сосудистые реакции (относительно фоновых показателей РВГ), а именно, снижение АЧП_{Фон-ХП} в среднем с 1,159 до 1,04 у.е. за счет уменьшения длительности кардиоциклов и повышения ЧСС.

При симметричном сравнении индексов (ИРС_{АЧП}), рассчитанных по АЧП, установлена следующая динамика реактивности сосудов слева В1-В3-В5 относительно ХП: -0,197; +0,1032; +0,0021 у.е., свидетельствующая о продолжающейся констрикторной реакции в 1 минуту ВП и реакции вазодилатации к 3-5 минутам. Отсутствие непосредственного холодового воздействия на кисть правой руки позволило установить сопряженную нарастающую реакцию вазодилатации сосудов справа к 5 минуте ВП: +0,216; +0,408; +0,371 у.е. (рис. 1). Следует обратить особое внимание на то, что значения разниц ИРС_{АЧП} (dX, у.е.) на третьей минуте ВП к первой и на пятой минуте ВП к первой как слева (АЧП_{В3-В1} = 0,300; АЧП_{В5-В1} = 0,194), так и справа (АЧП_{В3-В1} = 0,192; АЧП_{В5-В1} = 0,154) не имеют значимых различий ($p_{В3-В1} = 0,37$; $p_{В5-В1} = 0,5$ соответственно), что свидетельствует о внутригрупповой неоднородности сосудистых реакций на холодовое воздействие в сегменте «Кисть» (широкий межквартильный диапазон: справа dX_{В3-В1} Q25-75 0,036 – 0,272; dX_{В5-В1}

Q25-75 0,029 – 0,479; слева dX_{B3-B1} Q25-75 0,034 – 0,275; dX_{B5-B1} Q25-75 -0,114 – 0,439) и возможности использования вариабельности АЧП для определения информативных критериев индивидуально-типологических различий адаптивной реакции.

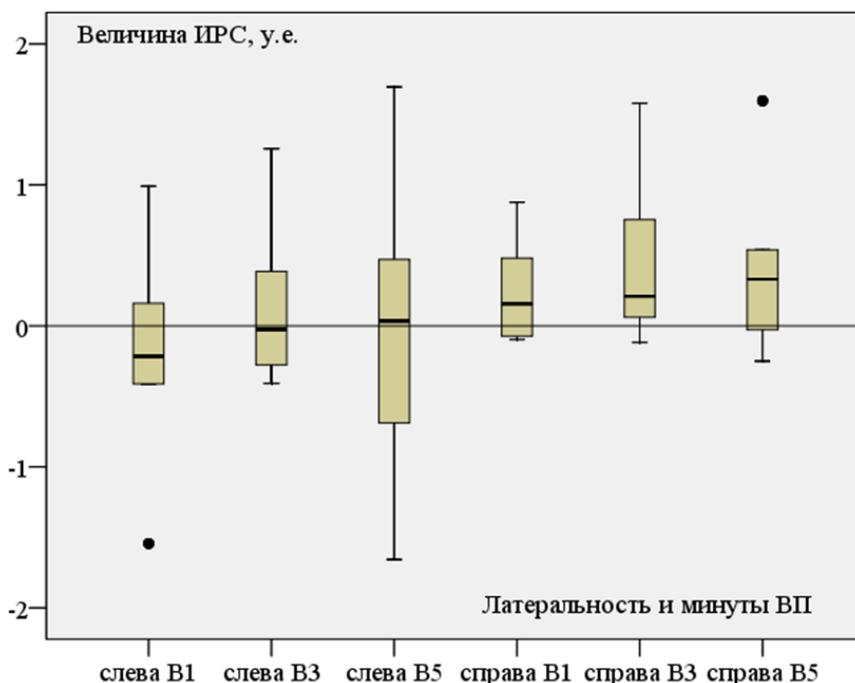


Рис. 1. Динамика сосудистой реактивности по интенсивности артериального кровотока АЧП (ИРС – индекс реактивности сосудов; В1, В3, В5 – минуты восстановительного периода (ВП))

Оценка уровня тонуса крупных артерий (ИБН, %) позволила установить его повышение на фоне локального холодового воздействия слева как в сегменте «Предплечье» (ИБН снизился к первой-третьей минутам $ИБН_{B1} = 24,2 - 44,4 - 56,8$; $p = 0,007$; $ИБН_{B3} = 37,07 - 40,5 - 45,6$; $p = 0,007$ относительно $ИБН_{ХП} = 40,9 - 45,9 - 48,8$), так и в сегменте «Кисть» (ИБН снизился к первой минуте $ИБН_{B1} = 35,2 - 40,6 - 53,1$; $p = 0,001$ относительно $ИБН_{ХП} = 43,7 - 45,9 - 55,0$). С правой стороны однотипные реакции отмечены только в сегменте «Кисть» (ИБН снизился к первой-третьей минутам $ИБН_{B1} = 29,4 - 37,8 - 47,7$; $p = 0,001$; $ИБН_{B3} = 33,1 - 41,5 - 46,4$; $p = 0,002$ относительно $ИБН_{ХП} = 40,1 - 44,3 - 52,7$).

Сопоставление «симметричных» $ИРС_{ИБН}$, рассчитанных по функциональному состоянию крупных артерий не выявило значимых различий и не противоречит пониманию того, что у молодых людей

достаточно выражены эластические свойства амортизирующих сосудов (аорта и прилегающие к ней крупные сосуды), обуславливающих сосудистое ремоделирование в фазу быстрого изгнания крови левым желудочком сердца.

Анализ кровотока в регионе «Предплечье – Кисть» по показателю, отражающему периферическое сосудистое сопротивление и сосудистый тонус на уровне прекапилляров (ДИК, %) позволил выявить в целом однонаправленные зональные сосудистые реакции. После локального холодового воздействия на кисть левой руки установлено значимое повышение тонуса на 1-3 минутах ВП: сегмент «Предплечье» слева ДИК_{В1} (28,6 – 70,5 – 82,1) относительно ДИК_{ХП} (8,94 – 26,6 – 28,2; $p = 0,001$) и справа ДИК_{В3} (27,8 – 37,3 – 44,9) относительно ДИК_{ХП} (14,7 – 26,7 – 31,3; $p = 0,002$). Однако, слева в сегменте «Кисть» кратковременное снижение тонуса сосудистой стенки прекапилляров при холодовом воздействии по сравнению с фоновыми значениями (ДИК_{ХП} (16,3 – 27,1 – 41,2) относительно ДИК_Ф (23,8 – 28,7 – 38,2; $p = 0,007$) сменялось приспособительными изменениями кровоснабжения в период восстановления (повышение ДИК_{В1} (14,0 – 36,0 – 76,8) относительно ДИК_{ХП} (16,3 – 27,1 – 41,2; $p = 0,001$). Это возможно при поступлении крови из артерий в вены через артериоло-венулярные анастомозы минуя капиллярную сеть (Логинова и др., 2004, Максимов и др., 2018). Справа в сегменте «Кисть» установлено сопряженное нарастание ДИК к 1 минуте ВП относительно ХП (ДИК_{В1} 31,2 – 37,4 – 67,9; ДИК_{ХП} 24,3 – 31,1 – 41,4; $p = 0,043$).

Симметричный анализ реактивности прекапилляров в сегменте «Кисть» по их сосудистому тонусу (ИРС_{ДИК}) позволил выявить на 1 минуте ВП проявление гипертонуса в большей степени слева по сравнению с таковым показателем справа (слева ИРС_{ДИК} = + 0,641; справа ИРС_{ДИК} = + 0,062; $p = 0,018$). При этом отсутствие значимости различий степени снижения тонуса прекапилляров к 5 минуте ВП свидетельствует об экономически целесообразной для организма в целом тактике центральных регулирующих влияний, т.е. идентичный командный паттерн получают эффекторы как левой, так и правой сторон. Разница значений (dX, у.е.) по ИРС_{ДИК}, обусловленная широким межквартильным диапазоном слева (dX_{В5-В1} Q25-75 -0,91 – (-0,315) по отношению к таковому показателю справа (dX_{В5-В1} Q25-75 -0,887 – 0,099) к пятой минуте ВП не имела значимых различий ($p_{В5-В1} = 0,24$) и позволяет нам отнести ДИК к одному из вариабельных показателей РВГ.

Анализ динамики состояния венозного оттока из исследуемого региона «Предплечье – Кисть» на фоне локальной холодовой стимуляции позволил установить с одной стороны отсутствие

пресистолической волны на реограмме, свидетельствующей о нормальном тоне вен у молодых индийских студентов, а с другой – затруднение венозного оттока в соответствии с возможностями констрикторной иннервации вен. Показатель венозного оттока повышался на фоне ХП независимо от сегмента и латеральной зональности (Q1 – Ме – Q3; сегмент «Предплечье» справа ПВО_{ХП} = 1,0 – 8,0 – 20,0 относительно ПВО_Ф = 1,0 – 2,0 – 3,0 $p = 0,001$; слева ПВО_{ХП} = 2,0 – 8,0 – 28,0 относительно ПВО_Ф = 1,0 – 2,0 – 5,0 $p = 0,04$; сегмент «Кисть» справа ПВО_{ХП} = 5,0 – 11,0 – 18,0 относительно ПВО_Ф = 3,0 – 5,0 – 8,0 $p = 0,004$; слева ПВО_{ХП} = 2,0 – 5,0 – 13,0 относительно ПВО_Ф = 1,0 – 2,0 – 4,0 $p = 0,04$). При этом облегчение венозного оттока из региона к 5 минуте ВП отмечалось только справа (сегмент «Предплечье» ПВО_{В5} = 1,0 – 4,0 – 8,0 относительно ПВО_{ХП} = 1,0 – 8,0 – 20,0 $p = 0,011$; сегмент «Кисть» ПВО_{В5} = 2,0 – 5,0 – 6,0 относительно ПВО_{ХП} = 5,0 – 11,0 – 18,0 $p = 0,001$), тогда как слева не обнаружено значимой дилатации сосудов скелетных мышц соотнесенного с резервом сопротивления на холодное воздействие.

Ответная сосудистая реакция находит свое подтверждение при симметричном сравнении индексов реактивности сосудов, рассчитанных по функциональному состоянию венозного оттока (ИРС_{ПВО}): сегмент «Кисть» слева -0,287 – -0,182 – 0,03; справа -1,09 – -0,81 – -0,32. Однако значимые латеральные различия отмечались лишь на 5 минуте ВП ($p = 0,07$) (рис. 2).

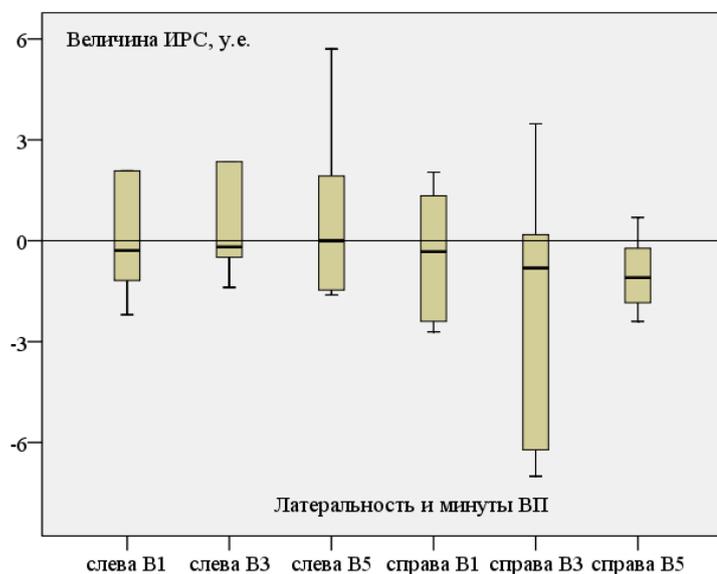


Рис. 2. Динамика сосудистой реактивности по состоянию венозного оттока из региона (ИРС – индекс реактивности сосудов; В1, В3, В5 – минуты восстановительного периода)

Заключение. Обобщение полученных результатов позволило увидеть, что сосудистая реактивность по данным реовазографии в регионе «Предплечье – Кисть» у индийских студентов на фоне локального холодового воздействия может варьировать за счет «несовершенности» защитно-компенсаторных реакций и проявляется в виде внутригрупповой неоднородности на холодовую стимуляцию периферических термочувствительных рецепторов кожи. Холодовой сосудосуживающий эффект в большей степени реализовывался через активацию центральным контуром сердечной деятельности (констрикторная сосудистая реакция в сегменте «Предплечье»), тогда как вазодилатация сосудов в сегменте «Кисть» достигалась через срочную адаптивную реакцию сосудистого гладкомышечного компонента.

Выявленная асимметрия кровоснабжения в регионе «Предплечье – Кисть», характеризующаяся снижением интегрального тонуса крупных артерий справа в пределах физиологической нормы и компенсаторным повышением венозного тонуса обусловлена преобладающим влиянием сосудистого компонента, так как длительность кардиоцикла и сердечный выброс «тождественны» как для левой, так и правой сторон, а также возможным доминирующим участием одной из рук в повседневной жизни.

Совокупность адаптивных изменений на локальное холодовое воздействие в контралатеральной стороне характеризовалась схожими однонаправленными реакциями. Однако, значимость различий показателей изменения кровоснабжения в восстановительный период в большей степени выявлена на стороне непосредственной холодовой стимуляции. При этом слева в сегменте «Кисть» регистрировались срочные специфичные реакции: кратковременное снижение тонуса сосудистой стенки прекапилляров на холодовое воздействие сменялось приспособительными реакциями кровотока в первую минуту восстановления, что свидетельствует о возможном поступлении крови из артерий в вены через артериоло-венозные анастомозы минуя капиллярную сеть.

Выявлено затруднение венозного оттока независимо от сегмента и латеральной зональности, но в соответствии с возможностями констрикторной иннервации вен. При этом облегчение венозного оттока из региона к 5 минуте восстановительного периода отмечалось только справа, тогда как слева не обнаружено значимой дилатации сосудов, соотношенной с резервом сосудистого сопротивления на холодовую стимуляцию.

Определены переменные показатели системы кровообращения по данным реовазографии верхних конечностей в регионе «Предплечье – Кисть» (амплитудно-частотный показатель, дикротический индекс и

показатель венозного оттока) как информативные критерии для определения индивидуально-типологических различий адаптивной реакции организма иностранных студентов на холодовое воздействие.

Локальное холодовое воздействие на терморцепторы кожи приводит к выраженным изменениям периферической гемодинамики, что следует учитывать при разработке рекомендаций по оптимизации функциональных резервов организма иностранных студентов из теплых стран в процессе их адаптации к новым климатическим условиям.

Список литературы

- Аверьянова И.В.* 2021. Ответные реакции кардиогемодинамики при локальном холодовом воздействии у жителей приморской и континентальной зон Магаданской области // *Экология человека*. № 10. С. 29-36. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-10-29-36>.
- Аверьянова И.В., Максимов А.Л.* 2023. Стратегия адаптивных перестроек функциональных систем у коренных европеоидов – уроженцев различных поколений Северо-Востока России // *Экология человека*. № 4. С. 259-273. <https://doi.org/10.17816/humeco321856>.
- Гудков А. Б., Попова О. Н., Пащенко А. В.* 2012. Физиологические реакции человека на локальное холодовое воздействие; Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 145 с.
- Коробицына Е.В., Гудков А.Б., Попова О.Н., Щербина Ю.Ф.* 2021. Особенности сократимости миокарда у лиц юношеского возраста при холодовом воздействии на стопу // *Журн. мед.-биол. исследований*. Т. 9. № 4. С. 459-462. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z084>.
- Коробицына Е. В.* 2023. Физиологические реакции сердечно-сосудистой системы на локальное охлаждение кожи кисти и стопы: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук, 138 с.
- Кулакова Т. Б., Никольский В.С.* 2012. Изменение региональной вегетативной реактивности у лиц с асимметрией артериального давления приводит к динамическому отклонению показателей гемодинамики // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. № 1. С. 54-57.
- Логинова Н.К., Гусева И.Е.* 2004. Реовазография и ультразвуковая доплерография сосудов пальца кисти // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. Т. 3. № 2(12). С. 76-78.
- Максимов А.Л., Харин А.В.* 2018. Состояние микроциркуляции при локальном холодовом воздействии и влияние тренировок с ререспирацией // *Морфология*. Т. 153. № 2. С. 31-36.
- Нарутдинов Д.А., Рахманов Р.С., Богомолова Е.С., Разгулин С.А., Потехина Н.Н.* 2021. Оценка риска здоровью по показателям холодового воздействия на территориях региона с различными типами климата // *Медицина труда и экология человека*. №3 (27). С. 109-123.

- Fedotova V.A.* 2021. International Students' Adaptation in Russia: its Varying Due to the Student's Culture of Origin // Bulletin of Kemerovo State University. V. 23. № 4(88). P. 995-1004. <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2021-23-4-995-1004>.
- Ibrahim Y.M., Bondarenko D.S.* 2023. The problem of adaptation of foreign students to study at a medical University in Russia // Молодежный инновационный вестник. № 12. P. 650-654.
- Khomushku O. M., Kukhta M. S., Raitina M. Yu.* 2020. Socio-Cultural Adaptation of Tuvan Students in Educational Environment of Tomsk // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. V. 13. № 7. P. 1137-1143. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0631>.
- Son J.-Y., Liu J. C., & Bell M. L.* 2019. Temperature-related mortality: a systematic review and investigation of effect modifiers // Environmental Research Letters. № 14(7). 073004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1cdb>.

SPECIFIC FEATURES OF REGIONAL BLOOD CIRCULATION IN FOREIGN STUDENTS DURING LOCAL EXPOSURE TO COLD

L.A. Tovmasyan, G.A. Sevriukova

Volgograd State Medical University, Volgograd

In the study presented we assess the indicators of regional blood circulation in foreign students in response to local exposure to cold. Rheograms of the upper extremities were recorded in the «Forearm – Hand» region at rest, against the background of local cold exposure to the left hand and during the recovery period (1-3-5 minutes). The asymmetry of blood circulation in the Forearm-Hand region was characterized by a decrease in the tone of large arteries and a compensatory increase in venous outflow on the right. In the «Hand» segment on the left, a short-term decrease in the tone of the vascular wall of the precapillaries due to cold exposure was replaced by adaptive reactions of blood flow in the first minute of recovery. By the 5th minute of recovery, no significant dilation of the vessels on the left was detected. We proposed an index of vascular reactivity and determined rheovasography indicators as informative criteria for individual typological differences in the adaptive reaction of the body of foreign students to cold exposure.

Keywords: *rheovasography of the upper limbs, regional blood circulation, cold test, adaptation of foreign students.*

Об авторах:

ТОВМАСЯН Лаура Андреевна – аспирант кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», г. Волгоград, пл. Павших борцов, д. 1, 400066, e-mail: laura7709@yandex.ru.

СЕВРЮКОВА Галина Александровна – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», г. Волгоград, пл. Павших борцов, д. 1, 400066, e-mail: sevrykova2012@yandex.ru.

Товмасын Л.А. Особенности регионарного кровообращения у иностранных студентов на фоне локального холодового воздействия / Л.А. Товмасын, Г.А. Севрюкова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 19-29.

Дата поступления рукописи в редакцию: 12.12.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

БИОХИМИЯ

УДК 577.154.004.4

DOI: 10.26456/vtbio383

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ПРОДУЦЕНТА ЦЕЛЛЮЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ

Н.Е. Куликова, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, М.А. Волчецкая
Российский биотехнологический университет, Москва

Целлюлазы – это группа ферментов, которые в совокупности обладают способностью катализировать гидролиз целлюлозы, самого распространенного биополимера на Земле. В настоящее время они занимают центральное место в круговороте органического углерода и являются важнейшими промышленными ферментами на мировом рынке. Расширение специфичности и диапазона действия целлюлолитических ферментов существенно повышает интерес к биокатализаторам как технологическим реагентам в различных отраслях промышленности, а биоразлагаемость на этапе утилизации отсутствие токсичности улучшает экологическую безопасность производства. Поэтому разработки, направленные на поиск и получение новых штаммов продуцентов целлюлаз, и условий их хранения являются актуальными и позволят в значительной степени снизить себестоимость промышленных ферментных препаратов и тем самым способствовать увеличению эффективности крупномасштабной переработки целлюлозосодержащих материалов. В связи с этим, настоящие исследования были направлены на изучение условий получения и физико-химических параметров режима хранения нового штамма продуцента целлюлолитических ферментов – культуры гриба *Trichoderma koningii* Т. Установлено: оптимальное количество посевного материала (в виде водной споровой суспензии) – $5 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^6$ спор на 1 г абсолютно сухой массы среды или по массе 0,15–0,2% возможно получить при посеве на твердой питательной среде, состоящей из 45% пшеничных отрубей, 25% свекловичного жома, 25% солодовых ростков и 5% опилок при исходной влажности среды 50–65%. Для сохранения свойств посевного материала рекомендуются следующие способы хранения: лиофильное высушивание, на песке, высушенном твердом субстрате, в зависимости от необходимого периода сохранения объекта исследований.

Ключевые слова: целлюлазы, гидролиз, ферментные препараты.

Введение. Биоконверсия возобновляемого растительного сырья в кормовые и пищевые продукты является одной из ключевых отраслей биотехнологии. Одно из направлений этой отрасли

предусматривает способы превращения непищевого сырья, представляющего собой, в основном отходы целлюлозно-бумажной промышленности и сельского хозяйства, с помощью целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Именно применение целлюлаз, синтезируемых и секретируемых микроскопическими грибами, как правило содержащих эндоглюканиду, экзоглюканиду и β -глюкозидазу, для обработки целлюлозосодержащего сырья позволяет достигать максимальной степени декструкции исходного сырья (Маслак и др., 2015; Лаврентьев, Шерне, 2020). Но высокая стоимость производства ферментных препаратов целлюлаз является основным ограничением масштабного применения их в промышленности. Поэтому исследования, направленные на изучение условий получения и режимов хранения продуцентов целлюлолитических ферментов, осуществляющие биоконверсию возобновляемого растительного сырья, содержащего преимущественно целлюлозу, самого распространенного биополимера на Земле, является одним из приоритетных направлений современной биотехнологии. Основными микроорганизмами, продуцирующими целлюлазы, гемицеллюлазы, ксилоназы, являются микроскопические грибы – возбудители мягкой, белой и бурой гнили, а также различные виды аэробных и анаэробных бактерий (Ефременко и др., 2014; Маслак и др., 2015; Лаврентьев, Шерне, 2020).

С одной стороны, центральное место занимают фундаментальные исследования, направленные на выяснение физико-химических закономерностей биоразложения целлюлозы в природе, механизмов действия грибных и бактериальных ферментов, а также разработки, направленные на поиск и получение новых штаммов.

Одним из наиболее изучаемых грибов, являющимся продуцентами целлюлолитических ферментов в настоящее время является род *Trichoderma* (Найдун и др., 2014; Макарова, Будаева, 2016). Виды *Trichoderma* используются для культивирования ферментных препаратов, используемых в целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, в производстве моющих средств, в получение спирта, преобразовании отходов, содержащих целлюлозу, в глюкозу (Зиновьева и др., 2018), получении кормовых добавок (Гнеушева и др., 2010; Зиновьева и др., 2018) и текстильной промышленности (Гнеушева и др., 2010; Макарова, Будаева, 2016; Зиновьева и др., 2018).

С другой стороны, возрастающая потребность различных отраслей народного хозяйства в целлюлолитических ферментов требует организации их промышленного выпуска.

Стандартную культуру в производстве можно получить при использовании качественного посевного материала. Он должен

содержать определенное для данной культуры количество спор (на единицу массы посевного материала) и ферментативную активность.

В качестве посевной культуры для засева производственных сред часто используют инокулят, полученный при выращивании на твердых питательных средах. Этот способ позволяет сократить его количество по сравнению с агаризованными средами в 1000 раз (Гнеушева и др., 2010; Зиновьева и др., 2018).

Для сохранения физиолого-биохимических свойств посевного материала применяют различные методы хранения: периодические пересевы на жидкие и твердые питательные среды, консервацию под вазелиновым маслом, в почве, песке, лиофильно-высушенном состоянии, стерильной водопроводной и дистиллированной воде и др. (Павловская и др., 2016; Зиганшин, Сироткин, 2017).

Цель – настоящие исследования были направлены на изучение условий получения и физико-химических параметров режима хранения продуцента целлюлолитических ферментов.

Материалы и методы исследования. Для выбора способов получения и хранения посевного материала использовали культуру гриба *Trichoderma koningii* T, отселекционированную во ВНИИПБТ.

Исходный штамм сохраняли на агаризованной среде, состоящей из 10% измельченной фильтровальной бумаги; 50% - 10%-ного экстракта пшеничных отрубей; 0,15% NaNO₃; 0,15% (NH₄)₂ SO₄; 0,1% N₂PO₄; 0,05% MgSO₄ * 2H₂O; 2% агара и водопроводной воды до 100 мл.

Для получения посевного материала на твердой питательной среде использовали следующую среду (в %): пшеничные отруби – 45; свекловичный жом – 25; солодовые ростки – 25; опилки – 5. Исходную влажность среды изменяли от 35 до 70% с интервалом 5%. Выращивание проводили в колбах объемом 250 мл в течение трех суток при температуре 30⁰С (встряхивание через 24 ч).

При выборе способа хранения культуры использовали следующие методы: на твердой питательной среде с различной исходной влажностью, песке, в лиофильно-высушенном состоянии, стерильной водопроводной и дистиллированной воде (Павловская и др., 2016; Зиганшин, Сироткин, 2017).

После проверки на микробиологическую чистоту (ГОСТ 26888-86) посевной материал хранили в холодильнике.

В готовой культуре определяли целлюлолитическую активность калориметрическим методом, основанным на определении восстанавливающих сахаров, образующихся при действии ферментов на фильтровальную бумагу (Watman №1) Павловская и др., 2016; Зиганшин, Сироткин, 2017). ГОСТ Р 55293-2012. Ферментные

препараты для пищевой промышленности. Методы определения целлюлазной активности.

Результаты и обсуждение. При хранении на песке и высушенной твердой питательной среде субстраты помещали в пробирки и после стерилизации засеивали 2 мл суспензии спор исходной чистой культуры. Пробирки выдерживали в термостате до полного высыхания субстратов при ежедневном интенсивном встряхивании.

Для лиофилизации споровую суспензию помещали в защитную среду – лошадиную сыворотку, замораживали при минус 40⁰С и затем лиофильно высушивали в течение 5 часов. Хранили в запаянных ампулах.

Для биохимической оценки посевного материала засеивали твердую питательную среду (состав указан выше) с исходной влажностью 60-62%. Выращивание проводили при 30⁰С в течение 64 ч в металлических кюветах с отверстиями.

Дозу посевного материала устанавливали экспериментально.

В таблице 1 представлены результаты опытов по изучению влияния исходной влажности питательной среды на споро- и ферментообразование при получении посевного материала на твердом субстрате с различной исходной влажностью, при продолжительности выращивания 10 суток.

Таблица 1

Влияния исходной влажности питательной среды на споро- и ферментообразование

Исходная влажность питательной среды, %	Количество спор на 1 г абсолютно сухой массы посевного материала	Целлюлолитическая активность, ед/г
35	-	-
40	-	-
45	$0,6 * 10^3$	$71 \pm 0,2$
50	$2,0 * 10^8$	$115 \pm 0,1$
55	$2,5 * 10^9$	$107 \pm 0,2$
60	$3,0 * 10^9$	$105 \pm 0,2$
65	$3,2 * 10^9$	$105 \pm 0,15$
70	$3,0 * 10^9$	$110 \pm 0,1$

Из данных таблицы 1 видно, что начальная влажность среды 35 – 40% недостаточна для роста гриба. При влажности 45% наблюдали слабый пристеночный рост и незначительное спорообразование даже при увеличении продолжительности культивирования до 10 суток. Повышение влажности с 50 до 65% способствовало быстрому росту культуры и обильному спорообразованию. Этот посевной материал

обеспечивал получение культуры с целлюлолитической активностью 150 – 170 ед/г. Таким образом, исходная влажность питательной среды для получения посевного материала должна быть 50 – 65%.

Известно, что скорость роста ферментов зависит от количества вносимого посевного материала (Зиганшин, Сироткин, 2017; Хамидова, 2021). В связи с этим, дальнейшие исследования были направлены на установление оптимальной дозы посевного материала (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость целлюлолитической активности целлюлазы от дозы посевного материала

Доза посевного материала, спор на 1 г абсолютно сухой массы среды	Целлюлолитическая активность целлюлазы при различной продолжительности культивирования (в ч.) ед/г				
	30	36	42	48	64
$2,0 * 10^2$	Нет роста				
$1,0 * 10^3$	Нет роста		$15 \pm 0,15$	$28 \pm 0,10$	$54 \pm 0,15$
$1,5 * 10^4$	Нет роста		$31 \pm 0,14$	$57 \pm 0,14$	$72 \pm 0,15$
$1,3 * 10^5$	$10 \pm 0,15$	$34 \pm 0,16$	$68 \pm 0,14$	$82 \pm 0,14$	$114 \pm 0,13$
$5,3 * 10^5$	$51 \pm 0,14$	$106 \pm 0,15$	$157 \pm 0,15$	$151 \pm 0,12$	$165 \pm 0,02$
$1,0 * 10^5$	$45 \pm 0,15$	$145 \pm 0,14$	$156 \pm 0,15$	$164 \pm 0,15$	$174 \pm 0,01$
$3,8 * 10^6$	$39 \pm 0,10$	$145 \pm 0,15$	$172 \pm 0,12$	$176 \pm 0,11$	$173 \pm 0,14$
$9,4 * 10^6$	$41 \pm 0,13$	$97 \pm 0,13$	$108 \pm 0,11$	$117 \pm 0,05$	$125 \pm 0,15$
$1,0 * 10^9$	$35 \pm 0,13$	$88 \pm 0,10$	$108 \pm 0,10$	$100 \pm 0,10$	$110 \pm 0,13$
$1,1 * 10^9$	$32 \pm 0,15$	$82 \pm 0,11$	$97 \pm 0,14$	$101 \pm 0,12$	$111 \pm 0,15$

Экспериментальные данные показали, что максимальная целлюлолитическая активность наблюдается в культуре, полученной при засеве питательной среды инокулятом в количестве $5,3 * 10^5 - 3,8 * 10^6$ спор на 1 г. Уменьшение дозы посевного материала до $2,0 * 10^2 - 1,0 * 10^3$ спор на 1 г приводило к замедленному неравномерному росту культуры, в результате чего синтез целлюлазы практически не проходил. При дозе посевного материала $9,4 * 10^6 - 1,0 * 10^9$ спор на 1 г наблюдали ранее очень обильное спорообразование, что приводило к снижению биосинтетической способности гриба на 25 – 40%. Таким образом, оптимальным количеством посевного материала является $5,0 * 10^5 - 4,0 * 10^6$ спор на 1 г абсолютно сухой массы среды.

Определение целлюлолитической активности в динамике развития культуры показало, что биосинтез целлюлазы при использовании оптимальной дозы посевного материала практически заканчивается к 42 ч. Сокращение длительности культивирования

позволяет получать значительно менее спороносную культуру, что улучшает условия дальнейшей ее переработки в промышленности.

Влияние способа хранения культуры гриба *Trichoderma koningii* T – на биосинтез целлюлазы приведено в таблице 3. Контролем служила культура, хранящаяся на агаризованной среде, с частотой посева 1 раз в три месяца.

Таблица 3

Изменение целлюлолитической активности *Trichoderma koningii* T в процессе хранения

Способ хранения	Целлюлолитическая активность в зависимости от продолжительности хранения, %							
	10 дней	1 месяц	3 месяца	6 месяца	9 месяца	1 год	2 года	3,5 года
На песке	-	100	100	100	100	100	93	-
В лиофильно-высушенном состоянии	-	100	100	100	100	100	100	100
На высушенной твердой питательной среде	-	100	100	100	100	100	91	84
На твердой питательной среде с различной исходной влажностью, %								
45	100	100	100	100	100	82	-	-
50 – 55	100	100	96	78	-	-	-	-
60 - 65	32	-	-	-	-	-	-	-
В стерильной водопроводной или дистиллированной воде	97	96	43	-	-	-	-	-

Представленные данные (табл. 2) показали, что наиболее приемлемым для длительного хранения культуры гриба *Trichoderma koningii* T - продуцента целлюлолитических ферментов является способ лиофильного высушивания. Он позволяет сохранить культуру в активном состоянии в течение 3,5 лет, сохраняя при этом жизнеспособность клеток.

Длительность хранения на песке позволяет хранить споры в течение 1,5-2 лет без потери их активности, но при увеличении продолжительности хранения наблюдается резкий спад выживаемости клеток культуры. Способность гриба синтезировать активную целлюлазу не теряется в течение 2-х лет и при хранении на высушенном твердом субстрате.

Результаты опытов, в которых использовали инокулят, полученный на твердой питательной среде с различной исходной влажностью, показали, что при влажности 60-65% он не подлежит хранению. Высокая влажность приводит в процессе хранения к автолизу, что резко снижает качество посевного материала [8,10]; влажность 50-55% обеспечивает сохранение способности гриба образовывать активную целлюлазу в течение 3-х месяцев. Увеличение длительности хранения на влажном субстрате, очевидно, приводит к накоплению продуктов обмена, что отрицательно влияет на способность гриба к биосинтезу целлюлолитических ферментов. Посевная культура с влажностью 45% может храниться без изменения свойств до 6 месяцев.

Споры можно также хранить в стерильной водопроводной или дистиллированной воде до 1,5 месяцев.

Заключение. Таким образом, посевной материал гриба *Trichoderma koningii* T хорошего качества может быть получен на твердой питательной среде, состоящей из 45% пшеничных отрубей, 25% свекловичного жома, 25% солодовых ростков и 5% опилок при исходной влажности среды 50-65%.

Оптимальное количество посевного материала при этом (в виде водной споровой суспензии) – $5 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^6$ спор на 1 г абсолютно сухой массы среды или по массе 0,15–0,2%.

Для сохранения свойств посевного материала рекомендуются следующие способы хранения: лиофильное высушивание, на песке, высушенном твердом субстрате, в зависимости от необходимого периода сохранения объекта исследований.

Посевной материал на твердом субстрате с влажностью 60 – 65% не подлежит хранению.

Список литературы

- Гнеушева И.А., Павловская Н.Е., Яковлева И.В. 2010. Биологическая активность грибов рода *Trichoderma* и их промышленное применение // Вестник аграрной науки. Т. 24. №. 3. С. 36-39.
- Ефременко Е.Н. и др. 2014. Имобилизованные грибные биокатализаторы для получения комплекса целлюлаз, гидролизующего возобновляемое растительное сырье // Катализ в промышленности. №. 1. С. 68-77.
- Зиганшин Д.Д., Сироткин А.С. 2017. Особенности глубинного и поверхностного культивирования грибов *Trichoderma* для получения биопрепаратов на основе клеток гриба // Вестник Казанского технологического университета. Т. 20. №. 10. С. 155-158.
- Зиновьева М.Е., Волкова Т.С., Шафигуллина Н.Ф. 2018. Особенности ферментативного гидролиза целлюлозосодержащего сырья ферментным препаратом «Целлолюкс-А» // Вестник технологического университета.

Т. 21. №. 3. С. 56-58.

Лаврентьев А.Ю., Шерне В.С. 2020. Выращивание молодняка крупного рогатого скота с использованием трепела и биостимулятора // Состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки на современном этапе. С. 289-297.

Макарова Е.И., Будаева В.В. 2016. Биоконверсия непищевого целлюлозосодержащего сырья часть 2 // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. №. 3 (18). С. 26-35.

Маслак Д.В. и др. 2015. Активность целлюлолитического комплекса индуцированных мутантов *Bacillus subtilis* // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. Т. 10. №. 1. С. 82.

Найдун С.Н. и др. 2014. Использование ферментных препаратов на основе грибов рода *Trichoderma* для повышения биодоступности компонентов шротов масличных культур / Биотехнология: достижения и перспективы развития: сборник материалов I международной научно-практической конференции, УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 25–26 сентября 2014 г. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.]; редкол.: К.К. Шебеко [и др.]. Пинск : ПолесГУ.

Павловская Н.Е. и др. 2016. Метаболиты грибов рода *Trichoderma* – перспективные компоненты микробиологических препаратов для агротехнологий // Вестник аграрной науки. Т. 59. №. 2. С. 60-64.

Хамидова С.Х. 2021. Создание таксономического положения грибов, относящихся к типу триходермий, выделенных из почвы // Интернаука. №. 2-1. С. 19-20.

STUDY OF CONDITIONS FOR THE PRODUCTION AND STORAGE OF CELLULOLYTIC ENZYME PRODUCER

N.E. Kulikova, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva, M.A. Volchetskaya
Russian University of Biotechnology, Moscow

Cellulases are a group of enzymes that collectively have the ability to catalyze the hydrolysis of cellulose, the most common biopolymer on Earth. Currently, they occupy a central place in the organic carbon cycle and are the most important industrial enzymes on the world market. The expansion of the specificity and range of action of cellulolytic enzymes significantly increases the interest in biocatalysts as technological reagents in various industries, and biodegradability at the disposal stage, the absence of toxicity improves the environmental safety of production. Therefore, the developments aimed at finding and obtaining new strains of cellulase producers and their storage conditions are relevant and will significantly reduce the cost of industrial enzyme preparations and thereby contribute to

increasing the efficiency of large-scale processing of cellulose-containing materials. In this regard, these studies were aimed at studying the conditions for obtaining and physico-chemical parameters of the storage regime of a new strain of the producer of cellulolytic enzymes - the culture of the fungus *Trichoderma koningii* T. It is established: the optimal amount of seed material (in the form of an aqueous spore suspension) – $5 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^6$ a spore per 1 g of absolutely dry mass of the medium or by weight 0.15–0.2% can be obtained by sowing on a solid nutrient medium consisting of 45% wheat bran, 25% beet pulp, 25% malt sprouts and 5% sawdust at an initial humidity of 50-65%. To preserve the properties of the seed material, the following storage methods are recommended: freeze-drying, on sand, dried solid substrate, depending on the required period of preservation of the object of research.

Keywords: *cellulases, hydrolysis, enzyme preparations.*

Об авторах:

КУЛИКОВА Наталия Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», 125080, Москва, Волоколамское ш., д. 11, e-mail: nataliyakulikova67@mail.ru.

ЧЕРНОБРОВИНА Антонина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», 125080, Москва, Волоколамское ш., д. 11, e-mail: ag_61@list.ru.

РОЕВА Наталья Николаевна – доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», 125080, Москва, Волоколамское ш., д. 11, e-mail: roeva@mgupp.ru.

ВОЛЧЕЦКАЯ Мария Аллексеевна – студент, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», 125080, Москва, Волоколамское ш., д. 11, e-mail: mgupp@mgupp.ru.

Куликова Н.Е. Изучение условий получения и хранения продуцента целлюлолитических ферментов / Н.Е. Куликова, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, М.А. Волчецкая // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 30-38.

Дата поступления рукописи в редакцию: 22.02.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

ЗООЛОГИЯ

УДК 591.434:599.323.43(470.331)

DOI: 10.26456/vtbio384

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АБСОЛЮТНЫХ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КИШЕЧНИКА И ЕГО ОТДЕЛОВ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ (*MYODES GLAREOLUS* SCHREBER) (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.А. Емельянова

Тверской государственной университет, Тверь

На примере 6 популяций европейской рыжей полевки, обитающей на территории Тверской области, рассматривается популяционная изменчивость показателей развития кишечника и его отделов. Анализируется возможное влияние на величину морфофизиологических признаков особенностей экологии *Myodes glareolus*. Установлено, что рыжие полевки, обитающие в хвойных и лиственных лесах, достоверно различались по признакам абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов. Наиболее явно тенденции биотопической изменчивости показателей развития пищеварительной системы проявлялись при сопоставлении весовых и линейных индексов кишечника и его тонкого и толстого отделов. Абсолютный и относительный размеры слепой кишки показывали зависимость от особенностей питания полевок: меньшие средние значения абсолютной и относительной длины слепой кишки отмечались для серий рыжих полевок, в питании которых фиксировалась повышенная доля белковых и углеводных кормов. При этом отличия популяций по показателям развития слепого отдела кишечника редко достигали уровня достоверности.

Ключевые слова: *рыжая полевка, Myodes glareolus, Тверская область, изменчивость, популяции, морфофизиологические показатели, кишечник, отделы кишечника.*

Введение. Настоящая статья представляет собой часть комплексных исследований, посвященных изменчивости морфологических признаков европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber, 1780), обитающей в верховьях Волги и сопредельных территориях, административно входящих в состав Тверской области (Емельянова, 1996, 1997, 2004а, 2004б, 2005а, 2005б, 2007, 2006, 2008а, 2009, 2010, 2013, 2015, 2019, 2022). Материалы, полученные при изучении внутривидовой и видовой изменчивости

морфологических параметров, для которых возможно выявление адаптивной сущности, могут быть полезны для решения общебиологических задач, таких, как вопросы адаптации, оценка разнообразия особей и популяций, механизмы микроэволюции и др. (Соколов, Суханов, 1978).

Для суждения о биологическом своеобразии обследуемых популяций широко применяется метод морфофизиологических индикаторов (Шварц, Смирнов, Добринский, 1968). В частности, в качестве важных морфофизиологических индикаторов используются размеры и пропорции кишечника и его отделов, несущие четкий отпечаток кормовой специализации. Связь относительной длины кишечника и его отделов с характером питания отдельных видов животных установлена рядом авторов (Величко, 1939; Величко, Мокеева, 1949; Обухова, 1948; Халилов, 1953, 1955). Растительоядные животные обладают более мощно развитым кишечником по сравнению с видами, потребляющими концентрированные корма (Наумов, Карташев, 1979; Ромер, Парсонс, 1992). Процессы выделения основных пищеварительных ферментов, расщепления калорийной пищи (белков, жиров и углеводов) и всасывания продуктов расщепления этих типов кормов происходят в двенадцатиперстной кишке и нижележащих отделах тонкого кишечника. На основании этого Н.Н. Воронцов (1967) полагает, что степень относительного развития тонкого отдела кишки отражает роль калорийных, преимущественно белковых, кормов в питании вида. Расщепление клетчатки с участием симбиотических микроорганизмов требует развития специальных «бродильно-мацерационных чанов», функцию которых выполняют слепая кишка и отчасти толстый отдел кишечника (Величко, Мокеева, 1949).

Увеличение длины кишечника и его слепого отдела является приспособлением, способствующим поддержанию нормальной жизнедеятельности животных при использовании кормов низкой калорийности. При этом относительная длина слепого отдела кишечника находится в более тесной связи с характером питания, чем относительная длина кишечника. Так, при изучении В.Н. Большаковым (1965) географической изменчивости данных показателей у полевок рода *Clethrionomys* оказалось, что северным популяциям рыжих полевок по сравнению с южными сериями свойственно увеличение относительной длины слепой кишки, особенно выраженное на крайнем северном пределе распространения, что свидетельствует о большем употреблении грубых кормов. Аналогичные данные получены при исследовании географической изменчивости относительной длины кишечника и его слепого отдела у зайцев-беляков (Шварц и др., 1968). У горных форм рыжей полевки, в

питании которых также велика роль низкокалорийных кормов, отмечается увеличение абсолютной и относительной длины кишечника (Kostelecka-Myrcha et al., 1970; Большаков, 1970, 1972). Относительные размеры всего кишечника и слепой кишки у рыжих полевков в Карелии заметно превышают таковые всех более южных популяций (Ивантер и др., 1985). Авторы связывают это с отмеченной ранее характерной особенностью питания вида в условиях таёжного Северо-Запада – переходом на более однообразные, менее питательные, но массовые виды корма (Ивантер, 1974, 1975, 1976).

По типу питания рыжая полевка может быть названа эврифагом или полифагом. Ассортимент её кормов чрезвычайно широк и разнообразен и включает все части травянистых растений и кустарничков, листья, побеги, кору, плоды и семена древесных и кустарниковых пород, мхи, лишайники, грибы, беспозвоночных и даже мелких позвоночных животных (Европейская рыжая полевка, 1981). Известна огромная адаптационная способность рыжей полевки поесть при необходимости разнообразную пищу, легко переходя с предпочитаемых кормов на замещающие в связи с изменением кормовой базы (Wrangel, 1939; Наумов, 1948; Огнев, 1950; Кошкина, 1957; Воронцов, 1961; Zejda, 1961; Kubik, 1965; Holišová, 1966; Holisova, Obrtel, 1979). В питании рыжей полевки отмечаются региональные, биотопические и сезонные отличия, зависящие от различий обилия основных кормов (Формозов, 1948; Заблоцкая, 1957; Ивантер, 1975; Watts, 1968; Hansson, 1971; Nemecki, 1988 и др.).

Ранее нами исследовалась специфика рациона рыжей полевки, обитающей на территории Тверской области. Оценка особенностей питания зверьков из разных точек отлова проводилась по объемной доле различных компонентов пищи и соотношению основных групп кормов (Емельянова, 2008б). В свете этого представляет интерес изучение популяционной изменчивости показателей развития кишечника для выявления возможного влияния на величину данных морфофизиологических признаков особенностей экологии европейской рыжей полевки.

Материал и методы. Сбор материала проводился стандартными методами учета (Кучерук, 1952) в следующих районах области (ныне муниципальные округа): Калининском, Зубцовском, Торопецком, Нелидовском, Лесном (июнь-июль 1999г.), Лихославльском (июль 2000г.). Значительная пространственная разобщенность географических точек, в которых проходил сбор серийного материала (от 60 до 120 км), наличие между ними обширных обезлесенных участков, болот и развитой речной сети, выполняющих барьерно-изолирующую роль, позволяют предполагать, что отловленные особи относятся к разным популяциям. При выборе

точек отлова учитывалась возможность влияния биотопических особенностей на специфику кормовой базы разных популяций и, следовательно, на величины показателей развития кишечника и его отделов. Всего при изучении изменчивости интерьерных признаков нами использовалось 450 рыжих полевок всех возрастных групп. Список обследованных биотопов и объемы серий представлены в таблице 1.

Таблица 1

Список исследованных биотопов в районах Тверской области

Районы	Зубцовский N 140*	Нелидовский N 115	Торопецкий N 120	Лесной N 46	Калининский N 234	Лихославльский N 59
Биотопы	Осинник с ольхой серой крапивно-гравилатовый	Ельник снытевый	Ельник чернично-сфагновый	Сосново-еловый лес кочедыжниковый	Осиново-сосновый лес с ольхой серой	Производный ельник
	Осинник с лещиной крапивно-гравилатовый	Ельник таволговый	Ельник-зеленомошник чернично-кисличный	Сосняк с березой крапивно-таволговый		Ельник с сосной и березой
		Ельник неморально-кисличный	Елово-осиновый с березой лес	Сероольшаник снытево-таволговый		
		Ельник-черничник		Сосняк разнотравный		

Примечание: * – общее число исследованных зверьков

В качестве морфологических показателей развития органов пищеварения обычно применяются размеры кишечника и его слепого отдела. Учитывая разное функциональное значение отделов кишечника, в нашем исследовании использовались: общая длина кишечника, длина тонкого, толстого кишечника и слепой кишки. Отделы пищеварительного тракта измерялись с содержимым с точностью до 1мм. Внутривидовая изменчивость относительной длины кишечника и его отделов в большинстве случаев маскируются разными размерами животных. В связи с этим рекомендуется вычислять индексы этих показателей, принимая во внимание длину и вес тела. Предполагается, что вес тела более точно отражает истинные размеры животного, чем его длина, также немаловажно, что потребность в питательных веществах растет пропорционально массе, а не длине тела (Шварц и др., 1968). При расчете весового индекса вес тела животного выражается условной линейной величиной, которой является корень кубический из веса животного в граммах. В нашем исследовании брался «живой вес» зверьков – масса тела с внутренними

органами. В таблице 2 представлены морфологические показатели, использованные при анализе особенностей строения пищеварительного тракта в рассматриваемых популяциях рыжей полевки, а также формулы, по которым производилось вычисление индексов кишечника и его отделов. Измерения внутренних органов производились после фиксации тушек в 4% формалине в течение полугода.

Предварительная проверка половозрастной изменчивости морфофизиологических показателей развития кишечника в рассматриваемых популяциях рыжей полевки показала наличие значимых различий между самцами и самками по некоторым показателям абсолютного и относительного размера кишечника и его отделов. Половой диморфизм, который выражается увеличением средних значений всех показателей у самок (кроме процентного соотношения длины отделов кишечника), найден главным образом в возрастных группах Sb₃ –Ab и Ad, то есть у половозрелых зверьков (Емельянова, 2013). Учитывая наличие полового диморфизма по абсолютным и относительным размерам кишечника и его отделов, преимущественно при сравнении популяций по данным показателям использовались серии, состоящие из перезимовавших взрослых самцов (возрастная группа Ad). В случае малых выборок при констатации отсутствия значимых отличий выборочных средних для самцов и самок, а также при изучении популяционных особенностей процентного соотношения размеров отделов кишечника рассматривались серии взрослых полевок без деления по полу.

Таблица 2

Морфологические показатели развития пищеварительной системы рыжей полевки

Показатель	Формула
ОДК – общая длина кишечника (мм)	
ДЛТОНК – длина тонкой кишки (мм)	
ДЛТОЛСТ – длина толстой кишки (мм)	
ДЛСЛЕП – длина слепой кишки (мм)	
ИНК – линейный индекс кишечника	$\frac{l^*_{кишечника(мм)}}{l_{тела(мм)}} \times 100\%$
ВИНК – весовой индекс кишечника	$\frac{l_{кишечника(мм)}}{\sqrt[3]{вес\ тела(гр)}} \times 100\%$

ИТНК - линейный индекс тонкого отдела кишечника	$\frac{l_{тонк.к.}(мм)}{l_{тела}(мм)} \times 100\%$
ВИТНК - весовой индекс тонкого отдела кишечника	$\frac{l_{тонк.к.}(мм)}{\sqrt[3]{вес\ тела(гр)}} \times 100\%$
ИТЛК - линейный индекс толстого отдела кишечника	$\frac{l_{толст.к.}(мм)}{l_{тела}(мм)} \times 100\%$
ВИТЛК - весовой индекс толстого отдела кишечника	$\frac{l_{толст.к.}(мм)}{\sqrt[3]{вес\ тела(гр)}} \times 100\%$
ИСЛК - линейный индекс слепой кишки	$\frac{l_{слеп.к.}(мм)}{l_{тела}(мм)} \times 100\%$
ВИСЛК – весовой индекс слепой кишки	$\frac{l_{слеп.к.}(мм)}{\sqrt[3]{вес\ тела(гр)}} \times 100\%$
ОДТНК – отношение длины тонкого отдела к длине кишечника	$\frac{l_{тонк.к.}(мм)}{l_{кишечника}(мм)} \times 100\%$
ОДТЛК - отношение длины толстого отдела к длине кишечника	$\frac{l_{толст.к.}(мм)}{l_{кишечника}(мм)} \times 100\%$
ОДСЛК - отношение длины слепого отдела к длине кишечника	$\frac{l_{слеп.к.}(мм)}{l_{кишечника}(мм)} \times 100\%$

Значения выборочных средних и стандартной ошибки для промеров отделов кишечника и их индексов для полевок возрастной группы Ad приводятся в таблице 3.

Для подтверждения достоверности различий выборок по морфологическим параметрам применялся критерий Стьюдента, констатация различий между выборками происходила при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Анализируя популяционные особенности абсолютной и относительной длины кишечника, можно заметить, что рыжим полевкам из Нелидовского, Торопецкого и Лихославльского районов свойственны большие значения этих морфологических показателей. Так, средняя длина кишечника (ОДК) в этих популяциях – 565,7, 539,4 и 526,8 мм соответственно (рис. 1). Для зверьков из данных районов получены следующие весовые и линейные индексы кишечника: 386,4, 374,4, 388,8% (ВИНК) и 516,02, 510,00 539,71% (ИНК) (рис. 2, 3). Различия между популяциями из Лихославльского и Нелидовского районов по общей длине кишечника достигают уровня достоверности (табл. 4). Полевкам из Зубцовского, Лесного и Калининского районов характерны меньшие средние значения абсолютной длины кишечника и его индексов. Величина ОДК в этих популяциях в порядке перечисления – 515,16, 505,7 и 491,0 мм. Соответствующие популяционные значения ИНК и ВИНК: 494,35, 500,5 492,2% и 359,3, 371,3, 347,02 % (рис. 1–3). У зверьков из Калининского района обнаружен самый короткий кишечник среди исследованных серий из районов Тверской области, вследствие чего по этому показателю достоверно отличие данной популяции от популяций из Нелидовского, Торопецкого и Лихославльского районов. Также достигает уровня достоверности отличие серии с максимальной абсолютной длиной кишечника из Нелидовского района от серий из Зубцовского и Лесного районов (рис. 1; табл. 4). Популяция из Лихославльского района, имеющая наибольшие значения линейного индекса кишечника, достоверно отличается по этому показателю от популяций из Зубцовского, Калининского, Лесного и Торопецкого районов (рис. 2; табл. 4).

При сравнении серий по весовому индексу кишечника получены достоверные отличия полевок из Зубцовского района от зверьков из Лихославльского, Нелидовского и Торопецкого районов. Также по данному признаку достоверно различие популяций из Лесного и Лихославльского районов, а популяция из Калининского района достоверно отличается от популяций из Лесного, Лихославльского, Нелидовского и Торопецкого районов (рис. 3; табл. 4).

Рассмотрим популяционные особенности рыжей полевки по таким морфофизиологическим показателям, как абсолютная длина, линейные и весовые индексы тонкого и толстого отделов кишечника. Отметим, что значения абсолютной длины тонкого кишечника (ДЛТНК) находятся в тесной связи с абсолютной длиной кишечника: длина тонкого отдела кишечника максимальна в популяциях с максимальной общей длиной кишечника и наоборот. В сериях из Нелидовского, Лихославльского, Торопецкого, Зубцовского, Лесного и

Калининского районов получены следующие значения данного показателя – 365,6, 345,4, 337,4, 332,1, 317,2 и 313,1 мм. Уровня достоверности достигает отличие популяции из Нелидовского района от популяций из Зубцовского, Лесного и Калининского районов. Серия полевков из Лихославльского района достоверно отличается от серий из Лесного и Калининского районов, а зверьки из Торопецкого района – от рыжих полевков из Калининского района (рис. 1; табл. 4).

Линейный индекс тонкого отдела кишечника (ИТНК) максимален в популяции из Лихославльского района – 539,7%. По этому морфологическому показателю данная популяция достоверно отличается от популяций из Нелидовского, Торопецкого, Лесного, Зубцовского и Калининского районов, где соответствующие значения ИТНК в среднем равны 516,02, 510,0, 500,5, 494,3, 492,3% (рис. 2; табл. 4).

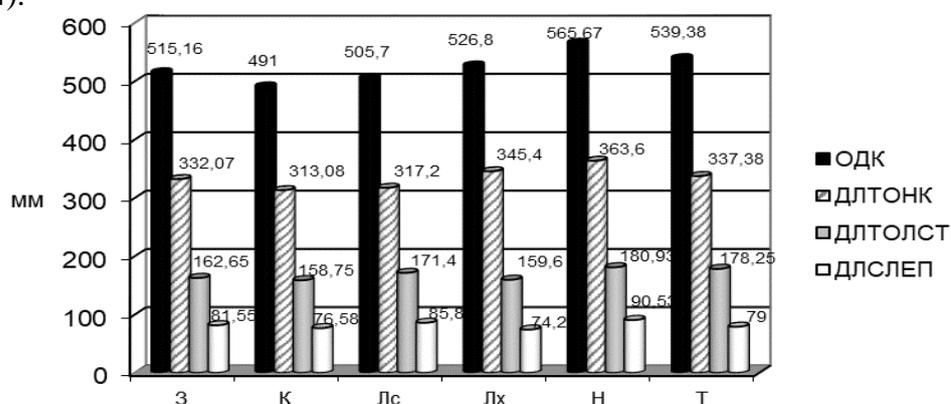


Рис. 1. Промеры кишечника и его отделов (в мм) рыжей полевки из некоторых районов Тверской области. Обозначения районов здесь и далее: З – Зубцовский, К – Калининский, Лс – Лесной, Лх – Лихославльский, Н – Нелидовский, Т – Торопецкий

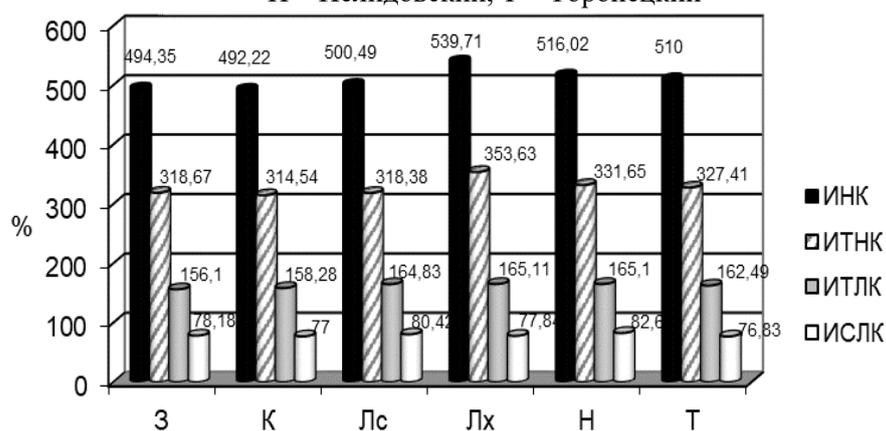


Рис. 2. Линейные индексы кишечника и его отделов (в %) рыжей полевки из некоторых районов Тверской области

Таблица 3
Значения выборочной средней и стандартной ошибки промеров отделов кишечника ($M(\text{мм}) \pm m$) и их индексов ($M(\%) \pm m$) для европейской рылецкой полевки возрастной группы Ad в некоторых районах области (Тверская область, 1999г., 2000г., 2001г.)

Показатель ♂/♀	Зубовский		Калининский		Лесной		Лихославльский		Неплюевский		Торопецкий	
	июнь 1999г. (n=31/24)	июль 1999г. (n=12/15)	июнь 1999г. (n=10/4)	июль 2000г. (n=5/3)	июль 1999г. (n=15/10)	июль 1999г. (n=8/6)						
ВЕС	27.23±0.48	26.14±0.61	24.28±0.68	24.08±0.96	29.17±0.61	30.26±0.92						
	32.81±0.64	31.23±1.01	25.54±1.41	29.63±2.38	29.74±0.95	35.20±1.48						
ДЛТЕПА (мм)	104.35±0.81	100.92±1.66	102.80±1.10	99.60±1.86	109.67±1.03	108.13±0.89						
	108.96±0.79	103.53±1.25	100.75±0.85	106.00±3.46	110.3±1.35	112.00±1.26						
ОДК (мм)	515.16±7.43	491.0±7.80	505.70±12.88	526.8±10.09	565.67±11.37	539.37±15.23						
	614.21±7.87	593.13±9.25	587.25±8.67	632.33±21.26	621.20±16.81	603.50±9.20						
ДЛТОНК (мм)	332.06±5.84	313.08±6.75	317.20±8.77	345.40±2.93	363.60±9.23	337.38±11.12						
	393.75±6.06	383.0±7.27	379.25±9.25	415.00±20.21	405.00±12.43	378.33±4.77						
ДЛТОЛСТ (мм)	162.65±2.22	138.75±2.69	171.40±3.13	159.60±2.93	180.93±2.55	178.25±4.32						
	197.21±2.42	188.53±4.41	184.00±6.12	196.33±1.86	192.00±6.10	198.33±6.65						
ДЛС-ЛЕП (мм)	81.55±1.61	76.58±1.12	85.80±3.45	74.20±2.89	90.53±1.88	79.00±2.68						
	95.67±1.90	91.0±1.85	90.25±3.33	82.67±7.22	97.90±3.65	92.00±2.79						
ИНК	494.35±7.48	488.0±11.05	491.94±11.72	529.12±7.62	516.02±9.76	498.97±14.14						
	564.39±8.27	575.43±9.06	583.11±11.80	598.99±38.26	563.93±16.94	538.84±5.54						
ВИНК	359.27±3.99	346.77±4.94	365.63±9.49	381.53±2.63	386.36±6.78	364.42±9.01						
	405.64±4.59	399.36±6.07	418.37±11.21	431.50±23.01	422.13±10.16	390.71±4.74						
ИТНК	318.67±5.79	311.39±9.07	308.71±8.64	346.72±2.48	331.65±7.96	312.24±11.00						
	361.82±6.14	370.35±7.34	376.69±11.74	393.49±30.96	367.59±12.04	338.03±6.02						
ВИТНК	231.54±3.36	221.12±4.48	229.41±6.70	250.13±2.85	248.31±5.70	228.01±7.19						
	260.00±3.56	256.97±4.67	270.37±10.61	283.32±18.92	275.21±7.77	245.11±4.70						
ИТЛК	156.09±2.31	157.53±2.64	166.72±2.36	160.43±3.82	165.10±2.37	164.80±3.40						
	181.18±2.49	182.23±4.14	182.56±5.11	185.63±6.47	174.35±6.16	176.90±4.10						
ВИТЛК	113.46±1.25	112.12±1.76	123.90±2.18	115.63±1.56	123.60±1.42	120.42±2.30						
	130.26±1.50	126.52±2.89	130.86±2.85	133.88±4.52	130.44±3.63	128.26±2.98						
ИСЛК	78.18±1.49	76.03±1.27	83.56±3.45	74.52±2.76	82.59±1.66	73.02±2.19						
	87.95±1.93	87.83±1.23	89.55±3.00	77.91±5.98	88.88±3.50	82.15±2.41						
ВИСЛК	56.94±1.12	54.10±0.79	62.04±2.50	53.72±1.73	61.83±1.14	53.39±1.72						
	63.19±1.21	61.04±1.15	64.19±1.78	56.49±5.95	66.52±2.29	59.54±1.59						
ОДТНК	64.39±0.35	63.72±0.55	62.71±0.45	65.56±0.71	64.19±0.39	62.51±0.65						
	64.07±0.30	64.34±0.63	64.56±0.94	65.56±1.03	65.17±0.72	62.73±0.81						
ОДЛК	31.62±0.27	32.38±0.58	33.99±0.55	30.31±0.42	32.05±0.32	33.14±0.81						
	32.14±0.28	31.67±0.51	31.35±1.11	31.11±0.94	30.93±0.60	32.84±0.74						
ОДСЛК	15.89±0.34	15.65±0.35	17.12±0.92	14.08±0.42	16.05±0.35	14.69±0.55						
	15.60±0.30	15.30±0.26	15.39±0.67	13.11±1.24	15.76±0.40	15.27±0.55						

Таблица 4

Оценка достоверности различий (t-тест, $p \leq 0,05$) параметров развития пищеварительного тракта европейской рыжей полевки, обитающей в разных районах Тверской области (самцы, Ad)

Р-оны	ОДК	ДЛТНК	ДЛТЛК	ДЛСЛК	ИНК	ВИНК	ИТНК	ВИТНК	ИТЛК	ВИТЛК	ИСЛК	ВИСЛК	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ЗК	0,056	0,054	0,340	0,098	0,879	0,069	0,682	0,053	0,860	0,582	0,399	0,156	0,639	0,399	0,798
ЗЛс	0,649	0,229	0,039	0,230	0,709	0,054	0,992	0,351	0,024	0,0002	0,514	0,158	0,054	0,013	0,363
ЗЛх	0,478	0,262	0,446	0,109	0,004	0,0003	0,004	0,0008	0,043	0,018	0,891	0,785	0,041	0,026	0,003
ЗН	0,0004	0,005	0,000	0,002	0,160	0,001	0,308	0,016	0,034	0,000	0,046	0,005	0,442	0,586	0,329
ЗТ	0,210	0,577	0,003	0,497	0,291	0,015	0,586	0,064	0,079	0,004	0,542	0,954	0,005	0,036	0,115
К/Лс	0,176	0,597	0,013	0,069	0,481	0,001	0,828	0,011	0,036	0,0003	0,294	0,019	0,226	0,049	0,237
К/Лх	0,035	0,018	0,958	0,671	0,011	0,000	0,005	0,000	0,052	0,006	0,506	0,202	0,045	0,054	0,002
К/Н	0,0001	0,0004	0,000	0,000	0,141	0,000	0,191	0,0003	0,040	0,0001	0,012	0,0001	0,260	0,346	0,172
К/Т	0,006	0,09	0,001	0,757	0,158	0,0002	0,270	0,0015	0,069	0,003	0,635	0,121	0,054	0,196	0,192
Лс/Лх	0,390	0,032	0,043	0,076	0,011	0,039	0,003	0,011	0,829	0,213	0,472	0,213	0,006	0,008	0,024
Лс/Н	0,001	0,002	0,041	0,211	0,311	0,148	0,278	0,206	0,885	0,588	0,347	0,247	0,043	0,016	0,770
Лс/Т	0,213	0,155	0,213	0,154	0,522	0,922	0,389	0,491	0,362	0,161	0,252	0,161	0,435	0,679	0,089
Лх/Н	0,023	0,274	0,002	0,002	0,096	0,471	0,043	0,120	0,802	0,052	0,076	0,011	0,223	0,081	0,002
Лх/Т	0,660	0,660	0,010	0,341	0,024	0,086	0,011	0,024	0,361	0,884	0,827	0,827	0,002	0,014	0,094
Н/Т	0,332	0,105	0,537	0,005	0,605	0,204	0,696	0,511	0,520	0,049	0,011	0,002	0,004	0,035	0,057

Примечание: здесь и далее заливкой выделены параметры развития пищеварительного тракта, по величине которых различия между сопоставляемыми группами достигли уровня достоверности ($p \leq 0,05$). Обозначения районов здесь и далее: З – Зубцовский, К – Калининский, Лс – Лесной, Лх – Лихославльский, Н – Нелидовский, Т – Торопецкий

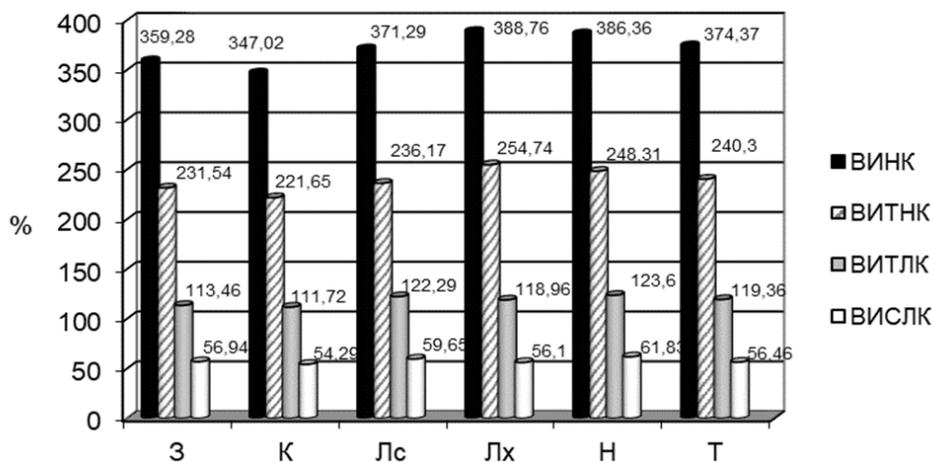


Рис. 3. Весовые индексы кишечника и его отделов (в %) рыжей полевки из некоторых районов Тверской области

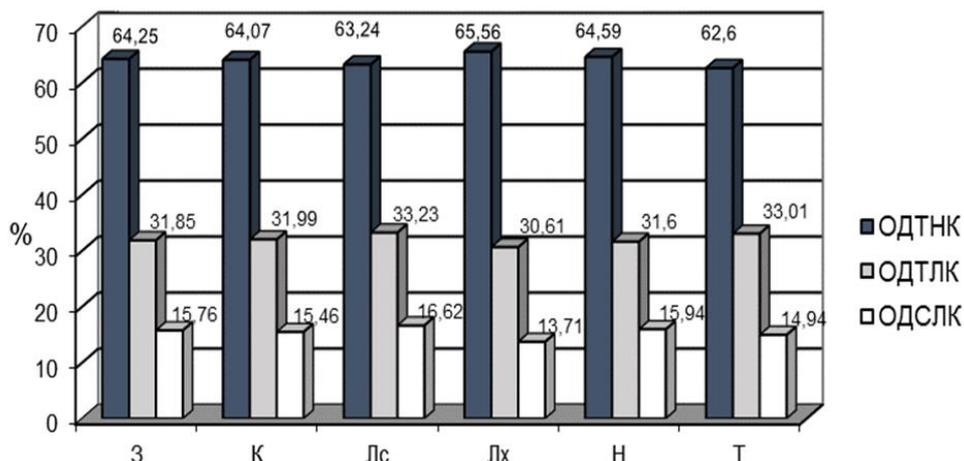


Рис. 4. Процентное соотношение отделов кишечника рыжей полевки (%) из некоторых районов Тверской области

В Лихославльском, Нелидовском, Торопецком, Лесном, Зубцовском и Калининском районах найдены следующие популяционные значения весового индекса тонкого кишечника (ВИТНК): 254,7, 248,3, 240,3, 236,2, 231,5 и 221,6%.

Таким образом, последовательность популяций в порядке уменьшения величины ВИТНК совпадает с таковой для ИТНК. При сопоставлении серий по величине показателя ВИТНК между ними обнаружено больше различий, достигающих уровня значимости, чем при сравнении по среднему значению ИТНК. Так, популяция из Зубцовского района достоверно отличается от популяций из

Лихославльского и Нелидовского районов. Серия из Калининского района отличается от всех серий, кроме серии из Зубцовского района. Серия же зверьков из Лихославльского района по этому признаку сходна только с выборкой из Нелидовского района (рис. 3; табл. 4).

Максимальное среднее значение абсолютной длины толстого отдела кишечника (ДЛТЛК) получено в популяции из Нелидовского района – 180,9 мм. По величине данного морфологического показателя эта популяция достоверно отличается от популяций из Лесного, Зубцовского, Лихославльского и Калининского районов, где средние размеры толстой кишки соответственно 171,4, 162,6, 159,6, и 158,7 мм. У полевок, отловленных в Торопецком районе, обнаружено второе по величине среднее значение показателя – 178,25 мм. Серия из Торопецкого района достоверно отличается от серий из Зубцовского, Калининского и Лихославльского районов. Также достоверно отличие популяции из Лесного района от популяций из Зубцовского, Лихославльского и Калининского районов (рис. 1; табл. 4).

У полевок из Лихославльского, Нелидовского, Лесного и Торопецкого районов обнаружена сходная величина линейного индекса толстого отдела кишечника (ИТЛК) – 165,11, 165,1, 164,8 и 162,5%. Минимальные средние значения индекса выявлены в популяциях из Калининского и Зубцовского районов – 158,3 и 156,1%. По данному признаку достоверно отличие зверьков из Зубцовского района от полевок из Лихославльского, Нелидовского и Лесного районов, популяции из Калининского района - от популяций из Лесного и Нелидовского районов (рис. 2; табл. 4).

При сопоставлении популяций по весовому индексу толстого отдела кишечника (ВИТЛК) ещё раз подчеркивается отличие серий из Калининского и Зубцовского районов – с одной стороны (средние значения показателя – 111,7 и 113,5%), от серий из Нелидовского, Лесного, Торопецкого и Лихославльского районов – с другой (123,6, 122,3, 119,4 и 118,96% соответственно). Также достоверно различаются популяции из Нелидовского и Торопецкого районов (рис. 3; табл. 4).

Анализируя популяционные особенности показателей развития слепого отдела кишечника отметим, что средняя величина показателя ОДСЛК у полевок из разных популяций близка, уровня достоверности достигает только отличие популяции из Лихославльского района от популяций из Лесного, Нелидовского, Зубцовского и Калининского районов (табл. 4).

Сравнивая популяции по абсолютной и относительной длине слепой кишки, надо отметить, что серии полевок из Торопецкого, Лихославльского и Калининского районов характеризуются небольшими средними значениями абсолютной и относительной

длины слепой кишки. Так, абсолютные размеры данного отдела кишечника в этих популяциях: 79,0, 74,2 и 76,6 мм. В популяциях из Нелидовского, Лесного и Зубцовского районов получены следующие значения этого показателя: 90,53, 85,8 и 81,55 мм. Уровня достоверности достигает отличие популяции из Нелидовского района от популяций из Зубцовского, Торопецкого, Калининского и Лихославльского районов (рис. 1; табл. 4).

Средние значения линейного индекса слепой кишки, полученные для серий из Нелидовского, Лесного, Зубцовского, Лихославльского, Калининского и Торопецкого районов – 82,6, 80,42, 78,18, 77,84, 77,0 и 76,83% соответственно. По данному морфологическому показателю достоверно отличие популяции из Нелидовского района от популяций из Зубцовского, Калининского и Торопецкого районов (рис. 2; табл. 4).

По весовому индексу слепой кишки обнаружены достоверные отличия популяции из Нелидовского района (61,83%) от популяций из Зубцовского, Торопецкого, Лихославльского и Калининского районов (56,94, 56,46, 56,10 54,29%), и полевок из Лесного района (59,65%) от зверьков из Калининского района (рис. 4; табл. 4).

В целом отмечается сравнительное постоянство размеров слепой кишки, заметное при сопоставлении популяций по абсолютной и относительной длине данного отдела пищеварительного тракта: по данным показателям между популяциями обнаруживается больше сходства, чем различий (табл. 4). Ранее, при исследовании полового диморфизма, было зафиксировано сходство абсолютных размеров и индексов слепого отдела кишечника у самцов и самок, не находящихся в состоянии активного размножения (Емельянова, 2013). Это означает, что каждая конкретная популяция по данным морфологическим признакам представляет некое единство. Невысокая степень варьирования длины слепой кишки у особей разных биотопов связана с важностью этого органа при изменении кормовых условий. Биологическая значимость слепого отдела пищеварительного тракта огромна, так как от его нормальной работы во многом зависит функционирование пищеварительной системы (Шварц и др., 1968).

Оценивая вклад в величину показателей развития кишечника морфофизиологических показателей развития его отделов, отметим, что увеличение размеров кишечника у полевок из Лихославльского и Нелидовского районов происходит за счет увеличения размеров его тонкого отдела, процентное отношение длины которого к общей длине кишечника (ОДТНК) в этих двух популяциях максимально – 65,56 и 64,59% соответственно (рис. 4). В этих же популяциях найдены минимальные значения отношения длины толстого отдела кишечника к общей длине кишечника (ОДТЛК) – 30,61 и 31,6%.

У полевок из Торопецкого района увеличение длины кишечника происходит за счет увеличения длины толстого отдела кишечника. Значение показателя ОДТНК в данной популяции минимально – 62,6%, показатель ОДТЛК – второй по величине среди исследованных популяций – 33,01%. По величине обоих показателей зверьки из этого района достоверно отличаются от полевок из Зубцовского, Нелидовского и Лихославльского районов (рис. 4; табл. 4).

В популяции из Лесного района при небольших значениях абсолютной и относительной длины кишечника получена максимальная величина ОДТЛК – 33,23%. По данному показателю эта популяция достоверно отличается от популяций из Калининского, Зубцовского, Нелидовского и Лихославльского районов. Величина морфологического показателя ОДТНК, обнаруженная в серии из Лесного района – 63,24%. По этому признаку уровня достоверности достигает отличие данной серии от серий из Лихославльского и Нелидовского районов (рис. 4; табл. 4).

Сопоставляя серии из Зубцовского и Калининского районов с остальными исследованными сериями, можно заметить, что данные популяции занимают промежуточное положение по относительной величине толстого и тонкого отделов кишечника. При этом у зверьков из Зубцовского района по сравнению с полевками из Калининского района процентное соотношение отделов кишечника смещено в сторону больших значений ОДТНК - 64,25 и 64,07% соответственно. У рыжих полевок из Калининского района средние значения показателя ОДТЛК превышают таковые у полевок из Зубцовского района – 31,99 и 31,85%. Различие серий по величине данных показателей не достигает уровня значимости (рис. 4; табл. 4).

Таблица 5

Популяционные особенности соотносительного развития отделов кишечника у рыжей полевки Тверской области (Ad, без разделения по полу)

Показатели	Соотношение отделов, %					
ОДТНК	65,56	64,59	64,25	64,07	63,24	62,60
Коды районов	Лх*	Н	З	К	Лс	Т
ОДТЛК	33,23	33,01	31,99	31,85	31,60	30,61
Коды районов	Лс	Т	К	З	Н	Лх
ОДСЛК	16,62	15,94	15,76	15,46	14,94	13,71
Коды районов	Лс	Н	З	К	Т	Лх

Примечание: * – расшифровка кодов районов – табл. 4.

Также Н.В. Башениной (1977) отмечается, что размеры слепой кишки не зависят от длины собственно толстой кишки, но достоверно коррелируют с длиной тонкого кишечника.

Таблица 6

Корреляционная матрица для показателей соотносительного развития отделов кишечника ($p \leq 0,05$)

Лихославльский район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК	R	-0,690	-0,619
	p		
ОДТЛК	0,058		0,310
ОДСЛК	0,456	0,102	
Лесной район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,807	-0,477
ОДТЛК	0,000		0,538
ОДСЛК	0,085	0,047	
Торопецкий район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,798	-0,759
ОДТЛК	0,001		0,923
ОДСЛК	0,090	0,029	
Нелидовский район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,947	-0,412
ОДТЛК	0,000		0,395
ОДСЛК	0,041	0,051	
Калининский район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,744	-0,376
ОДТЛК	0,000		0,375
ОДСЛК	0,053	0,054	
Зубцовский район	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,760	-0,358
ОДТЛК	0,000		0,264
ОДСЛК	0,007	0,051	
Общие данные (143 особи)	ОДТНК	ОДТЛК	ОДСЛК
ОДТНК		-0,833	-0,316
ОДТЛК	0,000		0,319
ОДСЛК	0,000	0,000	

В серии из Лихославльского района, характеризующейся максимальной величиной ОДТНК, найдено минимальное отношение длины слепой кишки к общей длине кишечника (ОДСЛК) – 13,71%. В этом же районе обнаружен минимальный показатель ОДТЛК. В серии из Лесного района, где достаточно мало значение показателя ОДТНК, величина ОДСЛК максимальна – 16,62%. Здесь также выявлено максимальное значение ОДТЛК для исследованных популяций. Следовательно, в этих двух популяциях отмечается прямая связь размеров слепой кишки с длиной толстого отдела кишечника, и обратная – с длиной тонкого отдела кишечника. В остальных же популяциях на первый взгляд наблюдается обратная зависимость

между величинами показателей ОДСЛК и ОДТЛК, и прямая – между ОДСЛК и ОДТНК (табл. 5). Однако, при использовании метода ранговой корреляции Спирмена (R) (Рокицкий, 1973), мы получили данные о наличии во всех исследованных выборках прямой корреляции между показателями ОДСЛК и ОДТЛК, и обратной – между показателями ОДСЛК и ОДТНК (табл. 6).

Данные корреляционные связи достигают уровня достоверности не в каждой популяции. Так, только у полевок из Нелидовского и Зубцовского районов обнаружена достоверная обратная связь показателей ОДСЛК и ОДТНК. В Лесном и Торопецком районах выявлена достоверная корреляция показателей ОДСЛК и ОДТЛК. При объединении же рассматриваемых серий взрослых полевок (143 особи) получена корреляционная связь показателя ОДСЛК с показателями ОДТЛК и ОДТНК, достигающая высокого уровня значимости. Также с помощью коэффициента Спирмена утверждается наличие высокодостоверной прямой корреляции между показателями ОДТЛК и ОДТНК, которая отмечается не только для объединенных данных, но и в пределах каждой популяции (табл. 6).

Данные результаты анализа фактического материала полностью согласуются с выше указанным выводом Н.В. Башениной (1977) относительно корреляционных связей толстого и тонкого отделов кишечника, но противоречат сведениям о более тесной взаимосвязи длины тонкого и слепого отделов кишечника.

Анализ коэффициентов вариации абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов показал, что наименьшей изменчивостью в популяциях из разных районов исследования обладают одни и те же признаки: абсолютная длина кишечника и его линейный и весовой индексы, абсолютная длина толстого кишечника и его индексы, процентное отношение длины тонкого кишечника к общей длине кишечника. В данном случае от известной арифметической зависимости величины изменчивости от абсолютных величин морфофизиологических признаков (Яблоков, 1966) отклоняются показатели ДЛТЛК, ИТЛК и ВИТЛК. Величина диапазона изменчивости остальных признаков находится в рамках упомянутого правила. Исключением является популяция из Нелидовского района, которой свойственна пониженная вариабельность абсолютных размеров слепой кишки и её линейного и весового индексов по сравнению с соответствующими показателями для тонкого отдела кишечника. Также в популяции из Калининского района обнаружен наименьший среди исследованных популяций коэффициент вариации абсолютной длины слепой кишки (табл. 7; рис. 5).

Рассмотрим популяционные особенности изменчивости показателей развития органов пищеварения. Обращает на себя внимание популяция из Лихославльского района, характеризующаяся незначительным диапазоном индивидуальной изменчивости всех показателей, и популяция из Зубцовского района, в которой довольно высока вариабельность абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов (табл. 7; рис. 5). В целом можно заключить, что повышенная изменчивость упомянутых признаков свойственна сериям из Зубцовского, Лесного и Нелидовского районов, меньшая – сериям из Лихославльского, Калининского и Торопецкого районов. Показатели развития тонкого отдела кишечника наиболее изменчивы в популяциях из Зубцовского и Нелидовского районов, небольшие значения коэффициентов вариации преимущественно получены для популяций из Лихославльского и Калининского районов. У полевок из Калининского, Торопецкого и Зубцовского районов обнаружен повышенный диапазон индивидуальной изменчивости абсолютного и относительного размеров толстого отдела кишечника, пониженная изменчивость данных показателей характерна сериям из Лихославльского, Нелидовского и Лесного районов. Признаки развития слепой кишки наиболее вариабельны в популяциях из Зубцовского, Торопецкого и Лесного районов. Меньшая величина коэффициентов вариации абсолютного и относительного размеров этого отдела пищеварительной системы свойственна рыжим полевым, отловленным в Калининском, Нелидовском и Лихославльском районах (табл. 7; рис. 5).

Таблица 7

Коэффициенты вариации (CV, %) средних величин абсолютных и относительных размеров отделов кишечника и их индексов

Районы Показатели	З	К	Лс	Лх	Н	Т
ОДК	8,03	5,50	8,05	4,28	7,79	7,99
ДЛТОНК	9,78	7,47	8,75	4,94	9,86	9,32
ДЛТОЛСТ	7,60	5,87	5,78	4,10	5,47	6,86
ДЛСЛЕП	10,99	5,06	12,71	8,70	8,04	9,62
ИНК	8,43	7,60	6,68	5,71	7,33	6,57
ИТНК	10,13	9,30	8,24	6,66	9,30	8,42
ИТЛК	8,24	6,85	5,23	5,16	5,56	5,65
ИСЛК	10,59	9,93	11,56	8,90	7,81	8,38
ВИНК	6,19	4,41	6,65	3,67	6,80	5,55
ВИТНК	8,07	6,23	8,10	5,08	8,89	7,37
ВИТЛК	6,13	5,49	5,49	3,74	4,46	5,75
ВИСЛК	10,98	7,42	11,48	8,60	7,12	8,98
ОДТНК	2,71	3,44	2,73	2,33	2,92	2,91
ОДТЛК	4,62	6,22	6,57	3,93	5,06	6,13
ОДСЛК	10,91	7,18	15,87	10,47	8,23	9,62

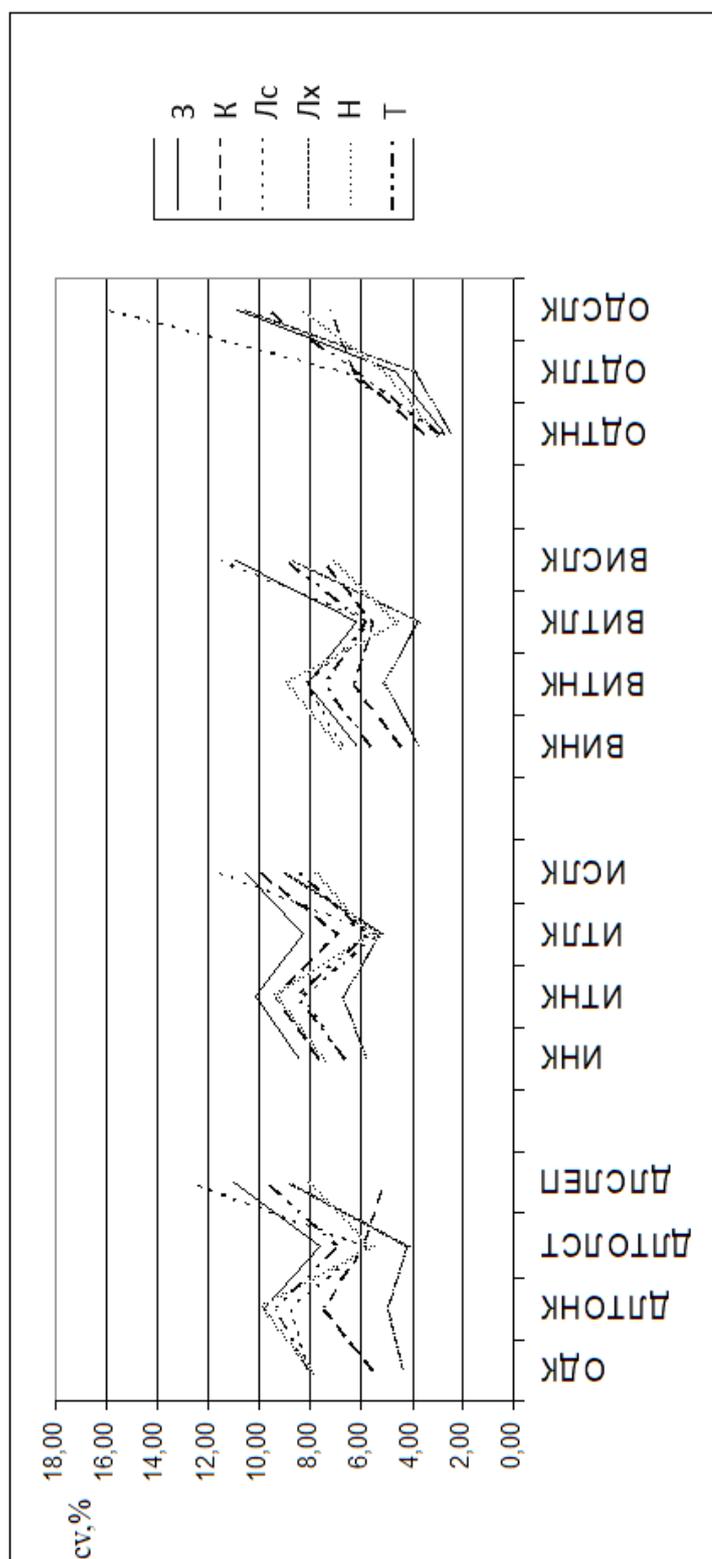


Рис. 5. Популяционные особенности индивидуальной изменчивости (CV, %) абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов рыжей полевки из некоторых районов Тверской области.

Показатели располагаются в порядке уменьшения их значений. Коды районов: З – Зубовский; К – Калининский; Лс – Лесной; Лх – Лихославльский; Н – Нелидовский; Т – Торопецкий

По средним значениям показателей можно оценить относительные размеры отделов кишечника, которые напрямую связаны с особенностями рациона полевок в разных популяциях. По величине же диапазона изменчивости относительной длины кишечника и его отделов можно судить о степени благоприятности кормовых условий (Шварц и др., 1968). Вследствие особой значимости слепого отдела кишечника в процессе пищеварения и его тесной связью с характером питания, обращалось особое внимание на показатели его развития при соотнесении данных по морфологии пищеварительного тракта с особенностями диеты зверьков разных популяций.

Так, например, в питании полевок, обитающих в Лихославльском, Калининском и Торопецком районах, обнаружена повышенная доля белковых и углеводных кормов – 53,6%, 46,0% и 33,4% соответственно (Емельянова, 2004в, 2004г). Для данных популяций характерны получены небольшие значения абсолютной и относительной длины слепой кишки. В этих же популяциях можно ожидать уменьшение относительных размеров кишечника и собственно толстой кишки, а также увеличение относительной длины тонкого отдела кишечника. В какой-то мере это наблюдается в сериях из Лихославльского и Торопецкого районов, где найдено увеличение абсолютной и относительной длины тонкой кишки при увеличении средних значений абсолютной и относительной длины кишечника. Полевкам из Калининского района свойственно уменьшение относительной длины кишечника и его тонкого отдела. Популяции из Калининского и Лихославльского районов характеризуются небольшими средними значениями показателей развития толстого отдела кишечника, увеличенными – популяция из Торопецкого района.

У зверьков из Нелидовского, Зубцовского и Лесного районов, рацион которых содержал большую долю грубых клетчатковых кормов – 84,6%, 75,3% и 69,6% соответственно (Емельянова, 2004в, 2004г), – обнаружен хорошо развитый слепой отдел кишечника. Также в популяциях из Нелидовского и Лесного районов найдено увеличение абсолютного и относительного размеров толстого отдела кишечника, а в популяциях из Зубцовского и Лесного районов – уменьшение относительной длины тонкого кишечника. Увеличение длины кишечника, которое может трактоваться как приспособление к питанию кормами низкой калорийности, зафиксировано только для серии полевок из Нелидовского района.

Заключение. Таким образом, наблюдаемые различия серий рыжей полевки по строению пищеварительного тракта связаны с экологическими особенностями популяций. Опираясь на количество показателей развития пищеварительного тракта, по которым различие

популяций достигает уровня достоверности, можно сделать вывод о существенном сходстве абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов у полевок, отловленных в биотопах Калининского и Зубцовского районов, характеризующихся преобладанием лиственных пород в древостое (различие по всем показателям недостоверно). Не найдено достоверных различий между популяциями из Торопецкого и Лесного районов, местообитание которых приурочено преимущественно к хвойным лесам. Зверьки, обитающие в ельниках Нелидовского района, по рассматриваемым морфологическим признакам примерно в равной мере сходны с полевками из Лихославльского, Торопецкого и Лесного районов (различие по 6, 6, и 5 показателям соответственно). Одновременно наблюдается значительно различие между двумя группами популяций, обитающих в биотопах разного типа: хвойных и лиственных лесах.

Наиболее явно тенденции биотопической изменчивости показателей развития пищеварительной системы проявляются при сопоставлении весовых и линейных индексов кишечника и его тонкого и толстого отделов. У полевок, отловленных в смешанных растительных ассоциациях, наблюдается уменьшение средних значений данных показателей, а для серий зверьков из хвойных ассоциаций зафиксировано увеличение соответствующих значений.

Абсолютный и относительный размеры слепой кишки обнаруживают зависимость от особенностей питания полевок: меньшие средние значения абсолютной и относительной длины слепой кишки характерны для серий рыжих полевок, в питании которых обнаружена повышенная доля белковых и углеводных кормов. При сравнении популяций по показателям развития слепого отдела кишечника редко отмечаются различия, достигающие уровня достоверности. Совокупность этих фактов свидетельствует о биологической важности слепого отдела пищеварительного тракта, что согласуется с литературными данными.

Список литературы

- Башенина Н.В.* 1977. Пути адаптаций мышевидных грызунов. М.: Наука. 355 с.
- Большаков В.Н.* 1965. Материалы по сравнительному изучению географической изменчивости интерьерных признаков близких видов полевок // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. Вып. 38. С. 53-60.
- Большаков В.Н.* 1970. Экологическая обусловленность некоторых интерьерных признаков мелких млекопитающих гор в связи с характером питания // Экология. №6. С. 70-79.
- Большаков В.Н.* 1972. Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям. М.: Наука. 192 с.

- Величко М.А.* 1939. О некоторых особенностях строения пищевода и желудка диких грызунов // Арх. анатомии, гистологии, эмбриологии. Т. 20, № 2. С. 363-376.
- Величко М.А., Мокеева Т.М.* 1949. О некоторых характерных особенностях строения и функционирования кишечника грызунов // Тр. ВИЗР. Вып. 2. С. 157-161.
- Воронцов Н.Н.* 1961. Экологические и некоторые морфологические особенности рыжих полевков (*Clethrionomys Tylesius*) европейского северо-востока // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 29. С. 101-136.
- Воронцов Н.Н.* 1967. Эволюция пищеварительной системы грызунов (Мышеобразные). Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 240 с.
- Европейская рыжая полевка = Bank vole, Bank vole 1981 /* Аристов А. А., Башенина Н. В., Бернштейн А. Д. и др.; Отв. ред. Н. В. Башенина. - Москва: Наука. 351 с.
- Емельянова А.А.* 1996. Сравнительная характеристика популяций рыжей полевки Тверской области по неметрическим вариациям зубов // Ученые записки. Тверь: Изд-во ТвГУ. Т.3. С. 34-35.
- Емельянова А.А.* 1997. Сравнительная характеристика зубной системы рыжих полевков Тверской области // Вопросы морфологии и экологии животных. Тверь: Изд-во ТвГУ. С.117-127.
- Емельянова А.А.* 2004а. Результаты комплексного изучения популяций рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreb.) верховий Волги и сопредельных территорий // Научные чтения памяти профессора В.В. Станчинского. Вып. 4. Смоленск: Изд-во Смоленского гос. пед. ун-та. С. 122-126.
- Емельянова А.А.* 2004б. Исследование влияния на окраску мелких млекопитающих некоторых экологических факторов на примере рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreb.) // Экологическая безопасность и рациональное природопользование. М.: Изд-во ГУЗ и МГУГиК. С. 125-128.
- Емельянова А.А.* 2004в. Изменчивость рыжей полевки верховий Волги и сопредельных территорий: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.08. Москва. 173 с.
- Емельянова А.А.* 2004г. Изменчивость рыжей полевки верховий Волги и сопредельных территорий: автореферат дис. ... канд. биол. наук. Москва. 21 с.
- Емельянова А.А.* 2005а. Возрастная изменчивость одонтологических признаков рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber) // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. № 4(10). Вып. 1. С. 88-96.
- Емельянова А.А.* 2005б. Результаты исследования адаптивности фенотипа зубной системы на примере популяций европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber) // Естествознание и гуманизм: Сборник научных работ. Томск, Т. 2. № 5. С. 49-51.
- Емельянова А.А.* 2006. Возрастная и сезонная изменчивость окраски меха европейской рыжей полевки // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Т. 5. Вып. 2. С. 68-74.

- Емельянова А.А.* 2007. О некоторых аспектах физиолого-биохимических процессов, обуславливающих изменчивость признаков окраски меха европейской рыжей полевки // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 5, № 21(49). С. 93-100.
- Емельянова А.А.* 2008а. Некоторые закономерности полиморфической изменчивости одонтологических признаков европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber), обитающей в верховьях Волги и на сопредельных территориях // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 7, №7(67). С. 79-88.
- Емельянова А.А.* 2008б. Питание европейской рыжей полевки верховий Волги и смежных территорий // Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология". Вып. 10, №31(91) Тверь: ТвГУ. С. 109-118.
- Емельянова А.А.* 2009. Изменчивость окраски меха европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schreber) верховий Волги и сопредельных территорий // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 12, №6. С. 49-57.
- Емельянова А.А.* 2010. Асимметрия морфофизиологических признаков европейской рыжей полевки некоторых физико-географических провинций // Природный, культурно-исторический и туристический потенциал Валдайской возвышенности, его охрана и использование. Материалы межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Национального парка «Валдайский» г. Валдай, 14-17 апреля 2010 г. Санкт-Петербург. С. 173-183.
- Емельянова А.А.* 2013. Возрастная, половая, хронографическая изменчивость морфофизиологических показателей развития кишечника европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber) // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 30. № 7. С. 17-36.
- Емельянова А.А.* 2015. Об использовании асимметрии парных органов как показателей, характеризующих популяционные особенности европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber), обитающей на территории Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. № 3. С. 96-108.
- Емельянова А.А.* 2019. Сезонная изменчивость одонтологических признаков европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber) / Современное состояние, проблемы и перспективы исследований в биологии, географии и экологии : материалы Национальной научнопрактической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию естественно-географического факультета РГУ имени С. А. Есенина и 90-летию со дня рождения профессора Леопольда Васильевича Викторова, 3–5 октября 2019 г. / под. ред. А. В. Водорезова. Рязань: Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. С. 17-20.
- Емельянова А.А.* 2022. Изменчивость некоторых экстерьерных признаков рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber), обитающей на территории Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 1(65). С. 50-78.
- Заблоцкая Л.В.* 1957. Материалы по экологии основных видов мышевидных

- грызунов Приокско-Террасного заповедника и смежных лесов // Тр. Приокско-Террасного заповедника. Вып. 1. С. 170-240.
- Ивантер Э.В.* 1974. Млекопитающие. Петрозаводск: Карелия. 215 с.
- Ивантер Э.В.* 1975. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного северо-запада РСФСР. Л. 246 с.
- Ивантер Э.В.* 1976. Питание и некоторые морфофизиологические особенности мышевидных грызунов Карелии // Экология птиц и млекопитающих северо-запада СССР. Петрозаводск. С. 68-95.
- Ивантер Э.В., Ивантер Т.В., Туманов И.Л.* 1985. Адаптивные особенности мелких млекопитающих: Эколого-морфологические и физиологические аспекты. Л.: Наука. 318 с.
- Кошкина Т.В.* 1957. Сравнительная экология рыжих полевок в северной тайге // Фауна и экология грызунов. М.: Изд-во МГУ, Вып. 5. С. 3-65.
- Кучерук В.В.* 1952. Количественный учет важнейших видов вредных грызунов и землероек // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. М. С. 3-9.
- Наумов Н.П.* 1948. Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов. М.; Л.: АН СССР. – 204 с.
- Наумов Н.П., Карташев Н.Н.* 1979. Зоология позвоночных. Пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие: Учебник для биолог. спец. ун-тов. М.: Высш. шк., Ч. 2. 272 с.
- Обухова А.Д.* 1948. О взаимосвязи типа питания и структуры пищеварительного тракта у различных животных // Вестн. животноводства. Т. 2. С. 31-36.
- Огнев С.И.* 1950. Звери СССР и прилежащих стран // Грызуны. М.-Л.: АН СССР. Т. 7. 706 с.
- Ромер А., Парсонс Т.* 1992. Анатомия позвоночных: в 2-х тт. М.: Мир. Т. 1. 358 с.; Т. 2. 406 с.
- Рокицкий П.Ф.* 1973. Биологическая статистика. Минск: Вышэйш. Школа. 320 с.
- Соколов В.Е., Суханов В.Б.* 1978. Задачи и программа раздела «Морфология» в монографиях серии «Виды фауны СССР и сопредельных стран» // Материалы VII (XV) и VIII (XVI) заседаний Рабочей группы по проекту №86 (18) «Вид и его продуктивность в ареале». Вильнюс. С. 20-24.
- Формозов А.Н.* 1948. Мелкие грызуны и насекомоядные Шарьинского района Костромской области в период 1930-1940 гг. // Фауна и экология грызунов. М. Вып. 3. С. 3-110.
- Халилов Ф.К.* 1953. К сравнительной морфологии кишечника млекопитающих в связи с характером питания: автореф. дис. ...канд. биол. наук. Алма-Ата. 21 с.
- Халилов Ф.К.* 1955. К сравнительной морфологии кишечника млекопитающих в связи с характером питания // Зоол. журн. Т. 34, вып. 2. С. 415-426.
- Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н.* 1968. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск. 388 с.
- Яблоков А.В.* 1966. Изменчивость млекопитающих. М.: Наука. 363 с.

- Hansson L.* 1971. Small rodent food, feeding and population dynamics // *Oikos*. V. 22. P. 183-198.
- Holišová V.* 1966. Food of an overcrowded population of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* Schreber, in a lowland forest // *Zool. Listy*. R. 15. № 3. S. 207-224.
- Holisova V., Obrtel R.* 1979. The food eaten by *Clethrionomys glareolus* in a spruce monoculture // *Folia Zool. Brno*, Vol. 28, № 3. P. 219–230.
- Kostelecka-Myrcha A., Gebczynski M., Myrcha A.* 1970. Some morphological and physiological parameters of mountain and lowland populations of the bank vole // *Acta theriol.* Vol. 15.. № 8. P. 133-142.
- Kubik I.* 1965. Biomorphological variability of the population of *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780) // *Acta. theriol.* Vol. 10. № 1. P. 117-179.
- Nemeczki M. L.* 1988. Investigation of food habits of small rodents in an oak forest // *Acta. boil. debrec.* № 21. P. 79–90.
- Wrangel H.F.* 1939. von. Beitzäge zur Biologie insbesondere der Fortpflanzungsbiologie der Rötelmaus, *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780) // *Z. Säugetierk*, Bd. 4, № 4. S. 52-93.
- Zejda J.* 1968. Age structure in populations of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780 // *Zool. Listy*. 1961. R. X, C. 3. S. 249-264.
- Watts C.H. The food eaten by wood mice (*Apodemus sylvaticus*) and bank voles (*Clethrionomys glareolus*) in Wytham Woods, Berkshire // *J. Anim. Ecol.* № 37. P. 25-41.

VARIABILITY OF ABSOLUTE AND RELATIVE SIZE OF THE INTESTINE AND ITS PARTS IN THE BANK VOLE (*MYODES GLAREOLUS* SCHREBER) (TVER REGION)

A.A. Emelyanova

Tver State University, Tver

The population variability of the development indices of the intestine and its sections is considered using 6 populations of the European bank vole living in the Tver region as an example. The possible influence of the ecological features of *Myodes glareolus* on the value of morphophysiological features is analyzed. It was found that bank voles living in coniferous and deciduous forests significantly differed in the absolute and relative sizes of the intestine and its sections. The trends in biotopic variability of the digestive system development indices were most clearly manifested when comparing the weight and linear indices of the intestine and its small and large sections. The absolute and relative sizes of the cecum showed a dependence on the nutritional features of the voles: smaller average values of the absolute and

relative length of the cecum were noted for the series of bank voles whose diet included an increased proportion of protein and carbohydrate feed. At the same time, the differences in the development indices of the cecum rarely reached the level of reliability.

Keywords: *bank vole, Myodes glareolus, Tver region, variability, populations, morphophysiological parameters, intestine, intestinal sections.*

Об авторе

ЕМЕЛЬЯНОВА Алла Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170002, Тверь, ул. Желябова, д. 33, email: Emelyanova.AA@tversu.ru.

Емельянова А.А. Изменчивость абсолютных и относительных размеров кишечника и его отделов рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber) (Тверская область) / А.А. Емельянова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 39-63.

Дата поступления рукописи в редакцию: 10.10.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

УДК 632.76; 595.765.8
DOI: 10.26456/vtbio385

РАЗВИТИЕ ОЧАГА ПОРАЖЕНИЯ ЯСЕНЕЙ Г. ТВЕРИ ЯСЕНЕВОЙ ИЗУМРУДНОЙ ЗЛАТКОЙ *AGRILUS PLANIPENNIS* FAIRMAIRE (COLEOPTERA: BUPRESTIDAE)

Н.Е. Николаева, А.А. Емельянова
Тверской государственный университет, Тверь

Данная работа посвящена изучению возникновения и распространения ясеновой изумрудной узкотелой златки (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888) в городе Твери. В статье рассматриваются пути проникновения этого вредителя в город, его распространение и динамика увеличения очага поражения. В работе анализируется приуроченность златки к различным типам посадок ясеней, а также зависимость степени повреждения деревьев от их местоположения. Сравнивается уровень ущерба, наносимого ясеню обыкновенному и пенсильванскому. В заключение оцениваются перспективы дальнейшего развития очага ясеновой изумрудной златки в Твери.

Ключевые слова: ясеновая изумрудная узкотелая златка, ЯИУЗ, *Agrilus planipennis*, инвазивный вид, вредитель ясеня, экологический мониторинг.

Введение. Ясеновая изумрудная узкотелая златка *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera, Buprestidae) (ЯИУЗ) – опасный вредитель ясеня, быстро расселяющийся по территории Европейской России и Северной Америки. В зоне своего естественного обитания – лиственные леса Восточной Азии – она не является экономически значимым вредителем, так как развивается только на отмирающих или сильно ослабленных деревьях (Орлова-Беньковская, 2013а).

До 2002 г. ЯИУЗ была известна только по нескольким коллекционным экземплярам. В 2002 г. она обнаружена в США и Канаде. По мнению специалистов, златка была завезена в Америку и на запад России в 1990-е гг. скорее всего с деревянной тарой и другими изделиями из Китая (Орлова-Беньковская, 2013а; Волкович, Мозолевская, 2014).

Московский регион считается первичным центром инвазии. Первый экземпляр ЯИУЗ был пойман в Москве в 2003 году. С 2002 по 2004 год наблюдалось усыхание ясеней по всей Москве. С 2006 по 2011 происходило распространение очагов заражения по Московской области (Орлова-Беньковская, 2013б; Волкович, Мозолевская, 2014). В 2013 г. в Зеленограде, Клину и Конаково подавляющее большинство

ясеней погибло или было серьезно повреждено (Орлова-Беньковская, 2013а).

В 2012-2014 гг. златка стремительно распространялась по территории центральных регионов России. В 2012 г. отмечены находки в Калужской, Тульской и Смоленской области. В 2013 обнаружены очаги на территории Тверской, Ярославской, Владимирской, Рязанской, Орловской, Тамбовской и Воронежской областей (Волкович, Мозолевская, 2014; Гниненко и др., 2016).

В 2013-14 гг. граница инвазийного ареала златки проходила по Тверской области. В 2013 г. крайними северо-западными точками распространения златки считался посёлок Эммаус (8 км от Твери) и ст. Кузьминка (10 км) (Орлова-Беньковская, 2013а; Перегудова, 2016). В результате исследований, проведенных М.Я. Орловой-Беньковской в 2013 году в г. Твери, усохших деревьев и других признаков наличия златки обнаружено не было (Орлова-Беньковская, 2013а). Однако, согласно прогнозам, ожидалось ее скорое и массовое нашествие на Тверь в связи с непосредственной близостью очагов златки к городу и с тем, что в Твери ясени играют заметную роль в городском озеленении, особенно вдоль Петербургского шоссе и придорожных насаждениях (Орлова-Беньковская, 2013а; Волкович, Мозолевская, 2014).

Впервые очаг ЯИУЗ в Твери был обнаружен в 2015 г. при осмотре насаждений ясеня пенсильванского в Московском районе (пос. Химинститута) Е.Ю. Перегудовой. По всей видимости, данный очаг существовал уже несколько лет, так как на момент обследования деревья были частично усохшие, наблюдались ходы ЯИУЗ, присутствовали водяные побеги (Перегудова, 2016; Перегудова, 2019). К 2019 году вредитель был отмечен во всех районах города (Перегудова, 2020).

В пределах своего естественного ареала – в Восточной Азии – златка служит вторичным потребителем отмирающих ясеней – китайского *Fraxinus chinensis* Roxb. и маньчжурского *F. mandshurica* Rupr. Здоровые деревья этих видов устойчивы к вредителю. На Северо-Американском континенте устойчивых к златке видов ясеней не найдено. В европейской части России, как и на Дальнем Востоке, златка повреждает в первую очередь интродуцированный пенсильванский ясень *F. pennsylvanica* Marshall и, в меньшей степени или немного позднее – аборигенный вид – ясень обыкновенный *F. excelsior* L. что в начале возникновения инвазии давало надежду на устойчивость ясеня обыкновенного к этому вредителю. Однако было установлено, что все три вида европейских ясеней (*F. excelsior*, *F. ornus* L. и *F. angustifolia* Vahl) не устойчивы к заражению ЯИУЗ (Орлова-Беньковская, 2013б; Волкович, Мозолевская, 2014;

Баранчиков и др., 2014). По мнению некоторых авторов следует рассмотреть вопрос о замене американских и европейских видов на восточноазиатские, устойчивые к ЯИУЗ или полное замещение ясеня другими древесными породами (Орлова-Беньковская, 2013а; Волкович, Мозолевская, 2014; Баранчиков и др., 2024).

В первую очередь златка заселяет взрослые деревья с толщиной ствола более 10 см, ослабленные абиотическими и биотическими факторами. Молодые экземпляры, деревья с тонкой корой и с малым диаметром ствола, а также деревья порослевого происхождения обычно не повреждаются (Орлова-Беньковская, 2013а; Баранчиков и др., 2014). Личинки питаются камбиальным слоем и флоэмой, что ведёт к гибели дерева в течение 2–6 лет. До первого вылета жуков поражённое дерево практически не отличается от здорового. Иногда на ослабленных златкой деревьях селятся короеды. У поражённого вредителем дерева отслаивается кора, появляются водяные побеги и корневая поросль, крона становится разреженной. Верхушка дерева усыхает, затем полностью отмирают ствол и ветви. Живыми остаются только побеги корневой поросли. Удалять сухие верхушки нет смысла, так как дерево все равно погибает (Орлова-Беньковская, 2013а; Демидко и др., 2020).

В основном коридорами для проникновения златки из одних городов в другие служат деревья, высаженные вдоль автомобильных дорог и шоссе. Быстрому расселению ЯИУЗ из Московского региона способствовал тот факт, что вдоль всех шоссейных дорог основная культура в посадках – это ясень, из-за того, что он довольно устойчив к загрязнению и загазованности. Но при анализе скорости распространения златки от Москвы до Твери была отмечена некоторая задержка. В связи с тем, что златка заселяет дерево от вершины к основанию, между появлением первых жуков и началом проявления признаков заражения должно пройти несколько лет. Таким образом, по расчетам, в Твери златка появилась только в 2010 г., то есть почти на 20 лет позднее по сравнению с Москвой (конец 1990-х гг.), несмотря на то, что расстояние составляет менее 140 км. Это может объясняться отсутствием кормовых растений на некоторых участках ее продвижения. Было установлено, что максимальная дальность перелета златки за одну генерацию составляет до 20 км., но при наличии кормовых ресурсов они не распространяются на расстояния более нескольких сот метров от места выхода (Волкович, Мозолевская, 2014; Егоров и др., 2021). Исследователями в Северной Америке была найдена зависимость скорости распространения златки от плотности насаждения ясеней, которая составила примерно 3-5 деревьев на 1 км дороги. Расчеты показали, что на части трассы от Зеленограда до Твери произрастает достаточное количество ясеней, для ее

самостоятельного продвижения, кроме одного двадцатикилометрового участка под Тверью в районе пос. Редкино. Этот участок, вероятно, представлял барьер для распространения златки, и она преодолела его, по-видимому, за счет проходящего транспорта так как расселение златки происходит не только в результате летной активности, но и за счет перевоза транспортными средствами (Волкович, Мозолевская, 2014; Егоров и др., 2021).

Попытки контроля инвазии вредителя вначале не принесли ощутимого результата. ЯИУЗ вызывала практически 100 % гибель ясеней (Орлова-Беньковская, 2013а; Волкович, Мозолевская, 2014). Но с 2014 г. на всей территории Москвы и Московской области началось заметное улучшение состояния ясеня. Сильно ослабленные и усыхающие деревья стали восстанавливаться, начался процесс зарастания ходов. Учеты, проведенные весной 2016 г., показали, что свежие поселения златки практически отсутствуют. Причиной такого резкого снижения численности златки и ее вредной деятельности стал комплекс паразитоидов, появившийся здесь в 2013-2014 гг. Одна группа перепончатокрылых паразитоидов из рода *Spathius* Nees. (Hymenoptera: Braconidae; Duan et al., 2012) появилась в регионе после проникновения нового инвазивного организма – европейской златки *Agilus convexicollis* Redtenbacher, 1849, вслед за которой паразитоид проник в центральные регионы России. В 2010-2011 гг. было установлено, что на ЯИУЗ в Подмосковье встречается три вида наездников рода *Spathius* (*S. exarator*, *S. rubidus* и *S. polonicus*). Вторым видом энтомофагов – наездник *Tetrastichus planipennisi* Yang (Hymenoptera: Eulophidae), был целенаправленно интродуцирован в Московскую область (г. Мытищи) из лесов Дальнего Востока в 2009 г. Учеты 2014 г. показали, что этот наездник в местах его выпуска уничтожил более 80% личинок златки (Клюкин, 2014).

Позднее, в результате работы американских и российских исследователей, было обнаружено, что до 63% личинок златки в Приморье заражены перепончатокрылым паразитоидом, названным *Spathius galinae* Belokobylskij & Strazanac, в честь Галины Ивановны Юрченко, изучавшей его биологию. В США разработали методику лабораторного разведения спатиуса Галины и в 2016 и 2017 гг. были проведены выпуски паразитоида в шести в разных штатах. Имея более длинный яйцеклад, чем другой интродуцированный паразитоид *T. planipennisi*, *S. galinae* может заражать личинок на стволах с диаметром более 12 см. Главным доводом в пользу широкого использования *S. galinae* как агента биологического контроля ЯИУЗ в США, Канаде и странах Европы служит его узкая трофическая специализация (Баранчиков, 2020).

Таким образом, на некоторых территориях России и США ясеневая изумрудная златка, которая ранее беспрепятственно распространялась, превратилась в вид, численность которого эффективно регулируется энтомофагами. Есть все основания полагать, что в будущем ясеневая изумрудная златка хоть и не исчезнет как вредитель ясеня, однако её количество будет меняться в зависимости от условий (Гниненко и др., 2016).

В рамках нашей работы мы поставили следующие задачи: исследовать динамику распространения очага поражения ясеней в городе Тверь; провести сравнительный анализ состояния ясеня обыкновенного и ясеня пенсильванского в различных районах города; оценить зависимость степени повреждения деревьев от их местоположения; определить перспективы дальнейшего развития очага поражения ясеней в городе.

Методика исследований. Наблюдение за состоянием ясеней г. Твери проводилось с 2022 по 2024 год во всех районах города: Заволжский, Центральный, Московский и Пролетарский, а также в пос. Эммаус (рис. 1, 2, 3).

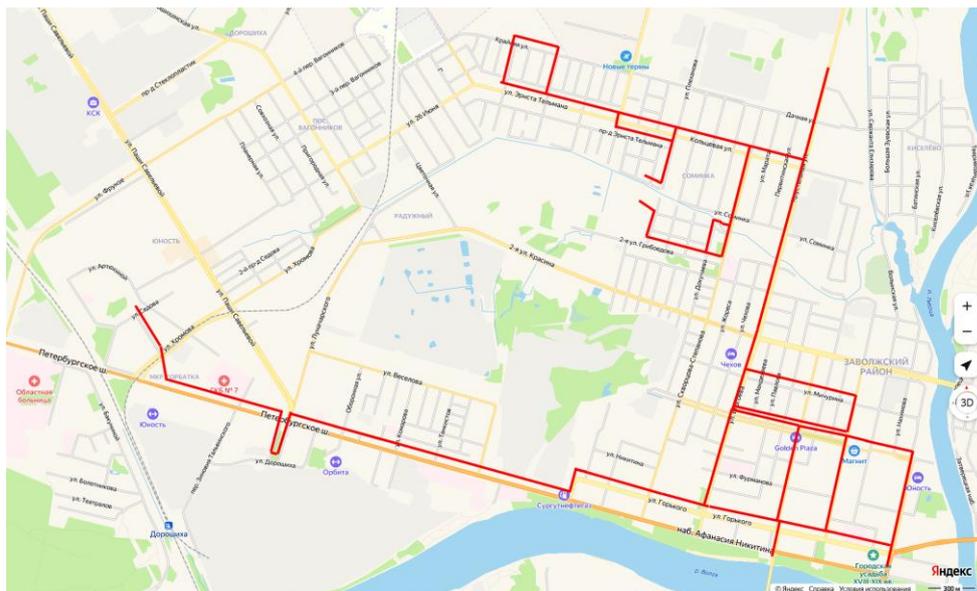


Рис. 1. Маршруты проведения исследований (Заволжский район)

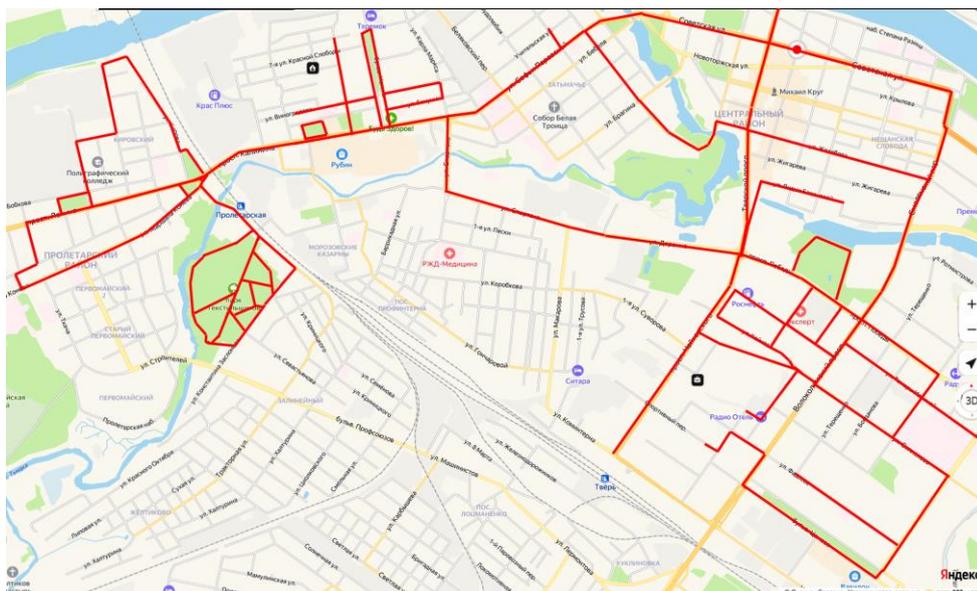


Рис. 2. Маршруты проведения исследований (Пролетарский, Центральный и часть Московского района)

В рамках работы был проведён осмотр ясеней, расположенных вдоль защитных полос у дорог, аллейных посадок, в парках, скверах и на придомовых территориях. Осмотр проводился как авторами работы в период с 2022 по 2024 год, так и студентами первого курса во время летних полевых практик в 2023–2024 годах.

Общий объем материала составил 5179 деревьев, более половины ясеней были определены до вида – 1705 экз. ясеня обыкновенного и 1243 экз. ясеня пенсильванского.

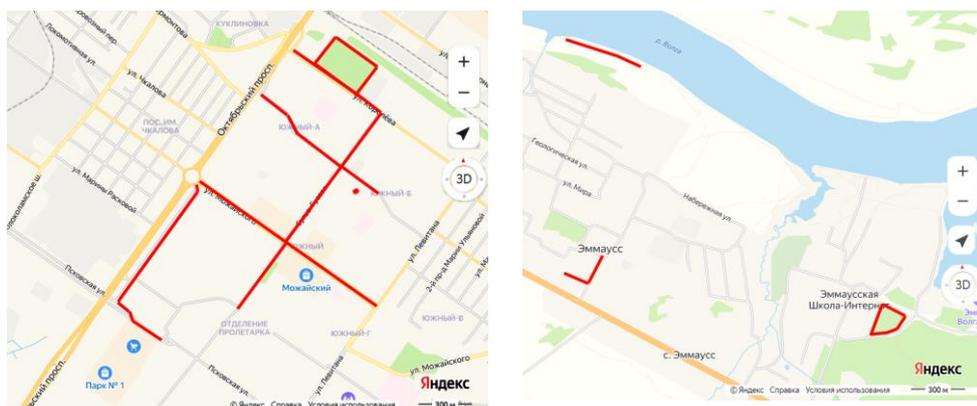


Рис. 3. Маршруты проведения исследований (Московский район, мкр. Южный; пос. Эммаус)

При оценке состояния ясеней вначале проводился осмотр нижней части ствола от земли до 2 м в высоту на наличие D-образных лётных отверстий ЯИУЗ. При необходимости производилось снятие коры на поврежденных участках и осмотр личиночных ходов. Далее проводилась оценка состояния средней и верхней части кроны ясеней на суховершинность и разреженность. Также осматривалась кора в пределах видимости на наличие расклёвов дятлами. При осмотре отмечались такие дополнительные факторы как одиночное или групповое произрастание деревьев, освещённость или затенённость места их расположения, а также уровень антропогенной нагрузки. При распределении деревьев по категориям состояния использовалась шкала оценки Ю.И. Гниненко (Гниненко, 2012) (табл. 1).

Таблица 1

Категории состояния деревьев

Категории состояния деревьев	Краткое описание состояния деревьев
1 – Здоровое	Признаков ослабления не выявлено.
2 – Ослабленное	В средней или верхней частях кроны имеются отдельные усохшие ветви. На стволе – раны (механические или морозобойные). Крона была подвергнута частичному обрезанию ветвей. Листва в кроне в первой половине лета изрежена или дехромирована. Часть побегов погибла или на листьях отмечены многочисленные некротические пятна.
3 – Сильно ослабленное	В средней или верхней частях кроны усохло более половины ветвей или имеется суховершинность. Листва сильно изрежена в первой половине лета. Осенью на стволе могут быть плодовые тела серно-желтого трутовика <i>Laetiporus sulphureus</i> .
4 – Усыхающее	Крона усохла более чем на 3/4, на стволе – водяные побеги. На поверхности коры – расклевы дятлом.
5 – Погибшее	Крона усохла полностью, в нижней части ствола могут сохраняться живые водяные побеги. На стволе видны вылетные отверстия лубоедов и многочисленные расклевы ствола дятлами.

Результаты и обсуждение. Согласно ранее проведенным исследованиям, распространение ЯИУЗ от Москвы до Твери проходило главным образом двумя путями. Первый и, по всей видимости, основной маршрут пролегал вдоль Ленинградского шоссе до посёлка Эммаус (2013 год), а затем по Московскому шоссе через посёлок Химинститута (2015 год). В 2016 году вдоль Московского шоссе до улицы Вагжанова на 9% ясеней были обнаружены следы жизнедеятельности вредителя: лётные отверстия, повреждения коры дятлами и водяные побеги (Перегудова, 2016; Перегудова, 2019).

Второй путь проникновения ЯИУЗ в Тверь пролегал вдоль

Октябрьской железной дороги. В 2016 году в посадках пенсильванского ясеня в районе железнодорожного вокзала (станция Тверь) были выявлены деревья с усохшей и разреженной кроной. В 2018 году около железнодорожной станции Дорошиха был обнаружен очаг ЯИУЗ с признаками сильного повреждения деревьев (Орлова-Беньковская, 2013а; Перегудова, 2016; Перегудова, 2019). К 2019 году ЯИУЗ был отмечен во всех районах города, однако степень заражения деревьев оставалась неравномерной (Перегудова, 2020).

С 2019 года, по нашим наблюдениям, наблюдается резкий рост популяции ЯИУЗ в городе Твери, а также значительное увеличение числа и площади поражённых участков. В результате проведенных нами исследований в марте-апреле 2022 года многие ясени даже в Пролетарском районе, который был заражен в последнюю очередь (Перегудова, 2020), уже находились на стадии сильно ослабленных и усыхающих с расклевами дятлов на стволах, летными отверстиями лубоедов и плодовыми телами трутовика. К 2023 г. муниципальными службами у многих поврежденных деревьев были удалены сухие ветви и кроны. В 2024 году было спилено большинство усохших деревьев по всем районам города, что визуально улучшило общее состояние ясеня и снизило долю погибших деревьев при учетах.

В 2023 и 2024 гг. ситуация продолжила стремительно ухудшаться. Для количественной оценки интенсивности нарастания вспышки заражения нами были обследованы 3278 экз. ясеней в 2023 году и 1901 экз. ясеней в 2024 году (таб. 2). За один год процент здоровых деревьев без признаков поражения сократился примерно на 20 %, в то время как количество погибших увеличилось на 7 %. Также возросла доля ослабленных и усыхающих ясеней с разреженной или усохшей кроной (рис. 4).

Таблица 2

Результаты оценки состояния ясеней г. Твери в 2023 и 2024 гг.

Год	Всего, экз.	По категориям состояния, %				
		1	2	3	4	5
2023	3278	32,6	23,5	19,8	17,1	6,9
2024	1901	13,3	25,7	24,5	22,5	14,2

В ходе нашего исследования мы сравнили уровень поражения двух видов ясеней – обыкновенного и пенсильванского – в масштабах города. Было обнаружено, что существует четкая тенденция распространения вредителя с пенсильванского ясеня на обыкновенный. В 2023 году процент неповреждённых деревьев обыкновенного ясеня был значительно выше (на 38%), а количество погибших деревьев — почти на 9% меньше, чем у пенсильванского. Однако в 2024 году показатели поражения обоих видов практически сравнялись (табл. 3, 4;

рис. 5, 6). В настоящее время достоверные различия по степени поражения разных видов ясеней наблюдаются только в Пролетарском районе города, который был заселён последним. Это подтверждает наблюдения других авторов о том, что вредитель переходит с пенсильванского ясеня на обыкновенный в процессе развития очага поражения (Орлова-Беньковская, 2013б; Волкович, Мозолевская, 2014; Баранчиков и др., 2014).

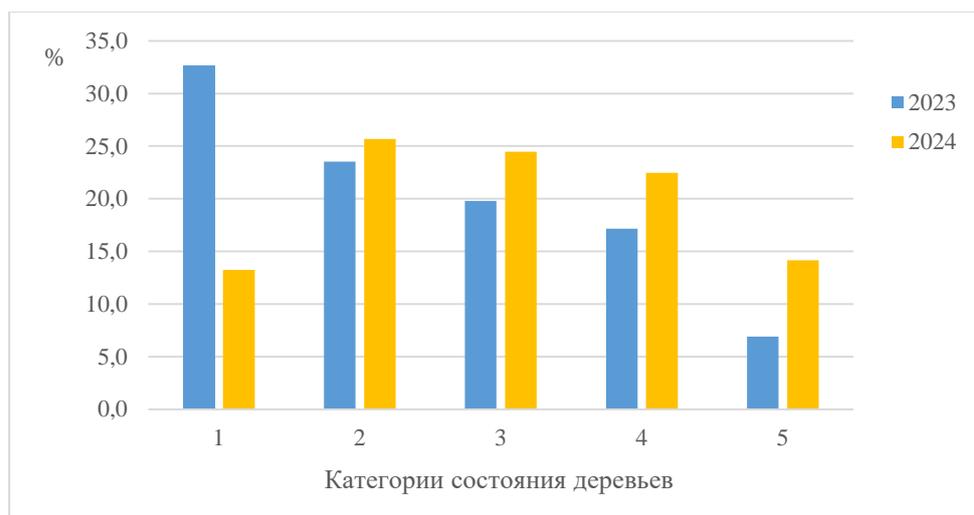


Рис. 4. Сравнение состояния ясеней г. Твери в 2023 и 2024 гг.

Таблица 3
 Результаты оценки состояния ясеня обыкновенного и пенсильванского в г. Твери в 2023 г.

Вид	Всего, экз.	По категориям состояния, %				
		1	2	3	4	5
Ясень обыкновенный	1183	57,7	16,8	12,2	8,5	4,9
Ясень пенсильванский	821	19,6	16,4	18,4	31,9	13,6

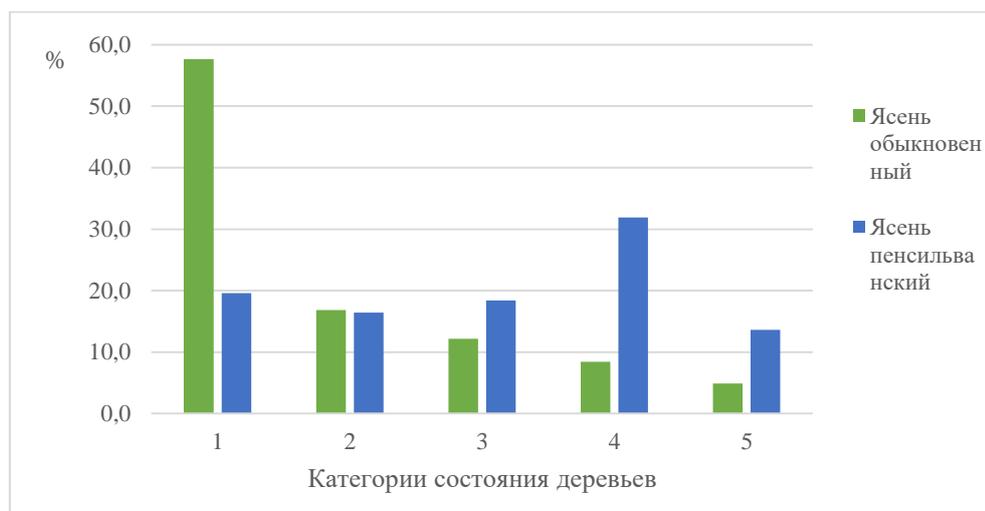


Рис. 5. Сравнение состояния ясеней обыкновенного и пенсильванского в г. Твери в 2023 г.

Таблица 4
Результаты оценки состояния ясеня обыкновенного и пенсильванского в г. Твери в 2024 г.

Вид	Всего, экз.	По категориям состояния, %				
		1	2	3	4	5
Ясень обыкновенный	522	23,2	31,0	19,5	16,1	10,2
Ясень пенсильванский	422	16,1	30,3	17,8	20,4	15,4

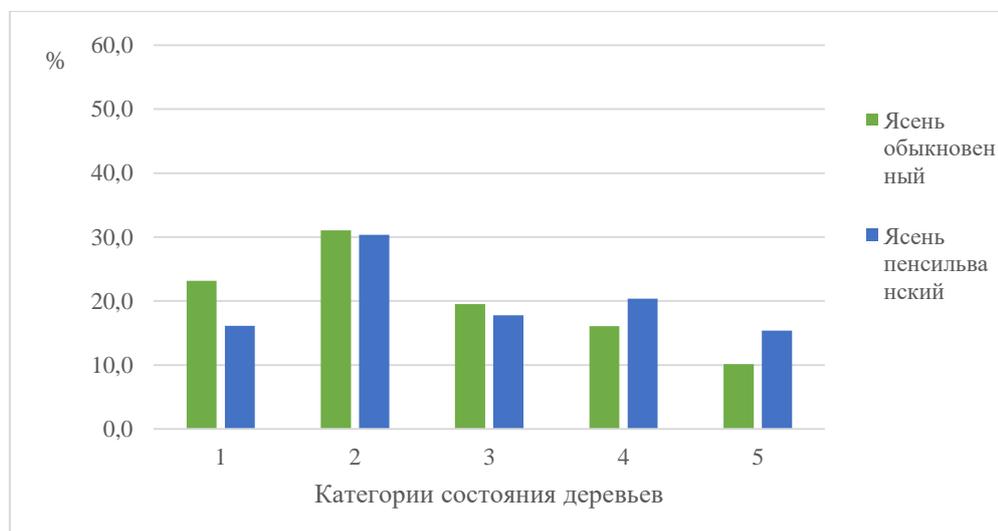


Рис. 6. Сравнение состояния ясеней обыкновенного и пенсильванского в г. Твери в 2024 г.

Для сравнения состояния ясеней в разных районах города было обследовано 5179 экз. деревьев (таб. 5). Как и в предыдущих исследованиях (Перегудова, 2020), наблюдалось крайне неравномерное распределение зараженных растений. Высокий процент деревьев без признаков поражения был отмечен для некоторых участков Заволжского и Пролетарского районов, самая неблагоприятная ситуация наблюдалась в Московском районе (рис. 7).

Таблица 5

Результаты оценки состояния ясеней по районам г. Твери

Район	Всего, экз.	По категориям состояния, %				
		1	2	3	4	5
Заволжский	1019	30,0	24,9	22,4	15,7	7,0
Пролетарский	1476	35,4	18,0	18,6	17,4	10,5
Центральный	1382	24,8	25,3	21,2	21,2	7,5
Московский	1062	9,8	28,8	24,4	23,5	13,5
Эммаус	240	19,2	35,0	24,6	12,1	9,2
Итого, районы:	5179	30,0	24,9	22,4	15,7	7,0

Неравномерность распределения зараженных деревьев по районам может быть обусловлена как различными сроками заселения территории вредителем, так и рядом факторов внешней среды. Например, согласно предыдущим наблюдениям, златка предпочитает более освещенные места и менее сомкнутые кроны, что характерно для её первичного ареала на Дальнем Востоке. В связи с этим в поселковых и городских зеленых насаждениях создаются более благоприятные условия для её обитания (Юрченко и др., 2007; Перегудова, 2020). Мы подтвердили эту закономерность для всех районов города: ясени, растущие на открытых участках с хорошей инсоляцией, оказались более пораженными ясеновой златкой. В то же время деревья, находящиеся в тени или в составе густых насаждений, содержали больше здоровых экземпляров. Наибольший процент усыхающих и погибших деревьев был нами отмечен среди насаждений ясеней вдоль автодорог и берегов рек. На данных участках ясени были высажены упорядоченными рядами на небольшом расстоянии друг от друга, что способствовало хорошему освещению кроны и более быстрому линейному расселению златки. Степень поражения ясеней на придомовых территориях, в парках, скверах была различной и зависела от множества факторов: сомкнутости кроны, уровня влажности, плотности расположения ясеней на территории, возраста деревьев, интенсивности антропогенной нагрузки и других условий.

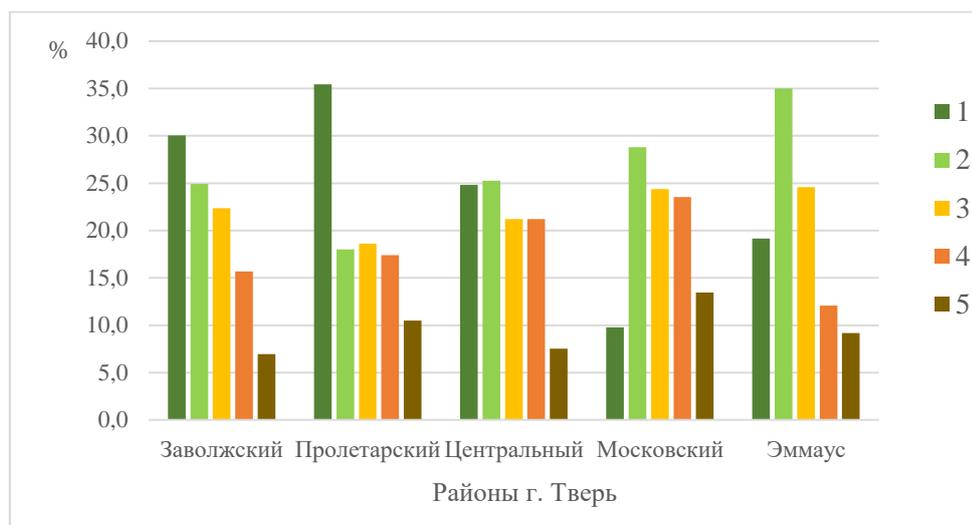


Рис. 7. Сравнение состояния ясеней по районам г. Твери

Затем нами был проведен анализ развития и состояния очагов ЯИУЗ в различных районах города, принимая во внимание экологические особенности каждого из них и приблизительные сроки, прошедшие с момента начала заражения златкой.

Заволжский район – это место, где сходятся два возможных пути проникновения златки в Тверь: участок автотрассы М-10, ведущей из Москвы в Санкт-Петербург (Ленинградское шоссе — Московское шоссе — Петербургское шоссе), и Октябрьская железная дорога со станцией Дорошиха (рис. 1).

В этом районе мы заметили, что степень повреждения ясеней очень различается. Это может быть связано с тем, что район большой и неоднородный: здесь есть как территории с малоэтажной, среднеэтажной и многоэтажной застройкой разной плотности и развитой сетью автодорог, так и многочисленные парковые, промышленные зоны, пустыри и зеленые зоны естественного происхождения.

Большинство деревьев вдоль потенциального пути проникновения златки – на набережной реки Волги, на улице Горького и Петербургском шоссе – находятся в состоянии от ослабленного до усыхающего. У них были обнаружены многочисленные водяные побеги, суховершинность и неоднократное обрезание крон. Есть погибшие деревья. Несколько лучше ситуация в микрорайоне Соминка, где общее состояние деревьев оценивается как удовлетворительное. Большинство обследованных деревьев оказались здоровыми или слабо поврежденными. Аналогичная ситуация наблюдается вдоль улицы Хрустальная.

За последний год на обследованных территориях процент внешне здоровых деревьев уменьшился на 18%, а доля погибших увеличилась на 9%. Состояние обыкновенного и пенсильванского ясеня практически не отличается, что может указывать на значительный срок существования данного очага поражения. В большей степени состояние деревьев здесь зависело от места их произрастания и уровня освещенности биотопа.

Пролетарский район города Твери характеризуется множеством зелёных зон как естественного, так и искусственного происхождения, которые перемежаются с жилыми кварталами индивидуальной и многоквартирной малоэтажной застройки (до 3-5 этажей) и домами частного сектора (рис. 2). Несмотря на то, что по территории района проходит участок Октябрьской железной дороги (станция Тверь – станция Дорошиха), где присутствие златки было зафиксировано ещё в 2016-2018 годах, этот район, вероятно, был заселен одним из последних. При обследовании ясеней в 2016 году следов заражения обнаружено не было, и деревья выглядели относительно здоровыми (Перегудова, 2019).

На данный момент ситуация в Пролетарском районе резко ухудшилась, и очаги заражения ЯИУЗ значительно расширились и приобрели массовый характер. Следы ЯИУЗ наблюдаются на протяжении большей части маршрута исследования, в некоторых парковых зонах наблюдается массовое усыхание зелёного массива. За последний год процент деревьев без признаков повреждения снизился почти на 40%, а количество погибших деревьев увеличилось примерно на 10%. В реальности число погибших деревьев может быть ещё больше, однако летом 2024 года большая часть из них была спилена, что могло привести к недоучету.

В этом районе также была выявлена сильная зависимость степени поражения деревьев от места их произрастания, но, была отмечена и зависимость от вида ясеня. В 2023 году ясень обыкновенный, независимо от расположения, был поражён в меньшей степени, чем ясень пенсильванский. Вероятно, это связано с более поздним проникновением златки в этот район, и заражение ещё не распространилось в полной мере на оба вида ясеня. Учитывая факт наличия зависимости степени поражения ясеня от его видовой принадлежности, высокий процент поражения деревьев в парковых зонах Пролетарского района можно связать с тем, что в них отмечается преобладание ясеня пенсильванского.

Несмотря на прогрессирующее поражение ясеня в Пролетарском районе, местами ещё наблюдаются относительно благополучные территории. Они включают преимущественно ясень обыкновенный и расположены вдали от крупных дорог.

Центральный район – это небольшая территория со средней плотностью малоэтажной и среднеэтажной застройки, где проходит множество автодорог (рис. 2). Зеленые зоны в основном сосредоточены на придомовых участках. Впервые признаки златки были обнаружены здесь в 2016 году в районе железнодорожного вокзала на станции Тверь (Перегудова, 2016; Перегудова, 2019).

Анализ изменений очага ЯИУЗ за последний год показал те же тенденции, что и в предыдущих районах: процент неповрежденных деревьев уменьшился на 19%, а доля погибших возросла на 6%. Ясень пенсильванский пока что более подвержен воздействию ЯИУЗ, в отличие от ясеня обыкновенного.

Московский район и микрорайон Южный представляют собой обширную территорию, пролегающую вдоль участков трассы М-10 и Октябрьской железной дороги (рис. 2, 3). Это первый район, где в 2016 году было зафиксировано присутствие ясеновой изумрудной златки сразу по обоим направлениям ее проникновения: вдоль Московского шоссе и в районе железнодорожного вокзала. Большая часть территории между Московским шоссе и микрорайоном Южный представляет собой послевоенную малоэтажную застройку с обширными промышленными зонами и высокой антропогенной нагрузкой. Ясени здесь растут преимущественно вдоль дорог и на придомовых участках. Из-за невысоких и неплотно расположенных строений большая часть территории хорошо освещена и прогревается солнцем. В микрорайоне Южный есть участки с многоэтажной застройкой, а также обширные открытые пространства и пустыри.

Степень поражения ясеней в Московском районе и в микрорайоне Южный имеет схожие характеристики. В 2024 году на обследованных территориях процент здоровых деревьев не превышал 15% и продолжает снижаться. Благодаря проведенным летом 2024 года рубкам, процент сохранившихся усыхающих и погибших деревьев увеличился лишь на 3-6%. При этом оба вида ясеня оказались сильно поражены. Вероятно, это связано с более ранним проникновением ЯИУЗ в данный район и наличием благоприятных условий для её обитания.

Поселок Эммаус был выбран для сравнения, поскольку в 2013 году здесь было зафиксировано одно из первых проявлений ЯИУЗ вблизи Твери (Перегудова, 2016). Исследования проводились на территории лесопарковой зоны, прилегающей к Эммаусской школе-интернату, на центральной аллее поселка, которая проходит вдоль территории ВНИИ мелиорированных земель, а также на берегу реки Волга (рис. 3).

За последний год доля здоровых деревьев уменьшилась на 6%, а количество погибших увеличилось на 10%. Достоверной разницы

между повреждением обыкновенного и пенсильванского ясеня установлено не было. Сохраняется общая тенденция более значительного повреждения деревьев, высаженных рядами и хорошо прогреваемых солнцем. Например, на центральной аллее поселка здоровые деревья составили только 14% от всех осмотренных. В то время как на территории лесопарковой зоны на участках с ясенем естественного происхождения, которые находятся в незначительном затемнении и соседствуют с елями, соснами, березами, липами, орешником и кленами, количество здоровых деревьев достигало до 40% от осмотренных.

Заключение. Результаты наших исследований позволяют сделать вывод, что в 2023-2024 годах в Твери наблюдается переход от стадии нарастания вспышки вредителя к её максимуму. Это подтверждается распространением златки по всем районам города, поражением обоих видов ясеня с тенденцией к выравниванию показателей степени поражения для обоих видов, а также увеличением количества погибших деревьев.

Некоторое время назад появились основания рассчитывать на замедление развития очага ЯИУЗ в связи с тем, что при осмотре ясеней в 2015-2016 годах на территории Тверской области были обнаружены имаго европейской златки *A. convexicollis* (Перегудова, 2016). Именно с этой златкой на территорию Москвы и Московской области проникли паразитоиды из рода *Spathius*, которые стали одной из причин угасания вспышки ЯИУЗ на данных территориях примерно через 10 лет после начала массового усыхания ясеней (Гниненко и др., 2016). Однако в Твери и Тверской области с момента обнаружения европейской златки прошло уже почти 10 лет, но ситуация пока продолжает ухудшаться. Усугубляет положение также то, что в городе до сих пор применяется неэффективный метод борьбы с вредителем – поэтапное удаление поражённых частей растения. Сначала удаляют сухие ветки и верхушки деревьев, затем срезают среднюю часть дерева, сохраняя нижние 1,5-2 метра ствола, и только на последних стадиях усыхания производится рубка под корень. По мнению некоторых источников в данной ситуации наиболее эффективно полное уничтожение поражённых деревьев по всей заражённой зоне (Орлова-Беньковская, 2013а; Демидко и др., 2020).

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что перспективы дальнейшего развития очага ясеновой изумрудной златки в Твери выглядят довольно мрачно для обоих видов ясеней, вплоть до полного уничтожения взрослых деревьев в городских насаждениях. Хотя в ближайшие несколько лет мы еще можем надеяться на появление естественных врагов ЯИУЗ и стабилизацию или снижение ее численности.

Список литературы

- Баранчиков Ю.Н.* 2020. Две Галины и спасение ясеней на планете (памяти Галины Ивановны Юрченко, 1937–2020 гг.) // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, Н.И. Кириченко и А.В. Селиховкина. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. С. 41-42.
- Баранчиков Ю.Н., Добролюбов Н.Ю., Семенов С.М.* 2024. Изменения климатического ареала ясеневой узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) в Северном полушарии // Российский журнал биологических инвазий. Т. 17, № 3. С. 14-26.
- Баранчиков Ю.Н., Серая Л.Г., Гринаш М.Н.* 2014. Все виды европейских ясеней неустойчивы к узкотелой златке *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) - дальневосточному инвайдеру // Сибирский лесной журнал. № 6. С. 80-85.
- Волкович М.Г., Мозолевская Е.Г.* 2014. Десятилетний "юбилей" инвазии ясеневой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairm. (Coleoptera: Buprestidae) в России: итоги и перспективы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. № 207. С. 8-19.
- Гниненко Ю.И., Клюкин М.С., Хегай И.В.* 2016. Ясеневая изумрудная узкотелая златка: катастрофа отменяется? // Карантин растений. Наука и практика. № 3(17). С. 38-41.
- Гниненко Ю.И.* 2012. Современное состояние ясеня в городах // Лесохозяйственная информация. № 2. С. 32-35.
- Демидко Д.А., Серая Л.Г., Ефременко А.А., Баранчиков Ю.Н.* 2020. Реконструкция динамики инвазии ясеневой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) в Твери // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, Н.И. Кириченко и А.В. Селиховкина. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. С. 143-144.
- Егоров А.А., Афонин А.Н., Скворцов К.И., Милютин Е.А.* 2021. Распределение ясеней в посадках вдоль трассы М10 Москва-Санкт-Петербург как транспортного пути для распространения инвазионного вредителя - *Agrilus planipennis* // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Сборник научных статей. Санкт-Петербург: Первый ИПХ, С. 62-64.
- Орлова-Беньковская М.Я.* 2013а. Европейский ареал жука *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) расширяется: зона массовой гибели ясеня охватила северо-западное Подмосковье и часть Тверской области // Российский журнал биологических инвазий. Т. 6, № 4. С. 49-58.

- Орлова-Беньковская М.Я. 2013б. Резкое расширение ареала инвазивного вредителя ясеня, златки *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera, Buprestidae), в европейской части России // Энтомологическое обозрение. Т. 92, № 4. С. 710-715.
- Перегудова Е.Ю. 2016. Первые находки златок *Agrilus planipennis* в Твери и *Agrilus convexicollis* в Тверской области // IX Чтения памяти О.А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: Материалы международной конференции, Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, А.В. Селиховкина. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. С. 82-83.
- Перегудова Е.Ю. 2019. Состояние очага ясеновой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) в Твери - на северо-западной границе инвазионного ареала // Российский журнал биологических инвазий. Т. 12, № 2. С. 80-86.
- Перегудова Е.Ю., Мусолин Д.Л. 2020. Распространение и экология ясеновой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) и консорция насекомых, связанных с ясенем пенсильванским (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) в Твери и Тверской области // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, Н.И. Кириченко и А.В. Селиховкина. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. С. 253-254.
- Рыкова У.О., Николаева Н.Е. 2023. Основные вредители древесных насаждений г. Твери // Материалы XXI научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов: Сборник статей конференции, Тверь, 20 апреля 2023 года. Тверь: Тверской государственный университет. С. 58-59.
- Селиховкин А.В., Дренкхан Р., Мандельштам М.Ю., Мусолин Д.Л. 2020. Инвазии насекомых-вредителей и грибных патогенов древесных растений на северо-западе европейской части России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 65, № 2. С. 263-283.
- Смирнова С.П., Николаева Н.Е. 2024. Влияние *Agrilus planipennis* на насаждения ясеня г. Тверь // Материалы XXII научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов: Сборник статей конференции, Тверь, 01–30 апреля 2024 года. Тверь: Тверской государственный университет. С. 83-84.
- Юрченко Г.И., Турова Г.И., Кузьмин Э.А. 2007. К распространению и экологии ясеновой изумрудной узкотелой златки (*Agrilus planipennis* Fairmaire), на Дальнем Востоке России // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. № 18. С. 94-98.

**THE DEVELOPMENT OF THE LESION OF THE ASH TREES
IN TVER CAUSED BY THE EMERALD ASH BORER *AGRILUS
PLANIPENNIS* FAIRMAIRE (COLEOPTERA: BUPRESTIDAE)**

N.E. Nikolaeva, A.A. Yemelyanova
Tver State University, Tver

Here we report the data on the origin and distribution of the Emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888) in the city of Tver. The article examines the ways of penetration of this pest into the city, its spread and the dynamics of the increase in the lesion. We analyze the relevance of the Emerald ash borer to various types of ash tree plantings, as well as the dependence of the degree of damage to trees on their location. The level of damage caused to common ash and Pennsylvania ash is compared. In conclusion, the prospects for further development of the Emerald ash borer population in Tver are assessed.

Keywords: *ash emerald narrow-bodied goldfish, YAIUZ, Agrilus planipennis, invasive species, pest of ash, environmental monitoring.*

Об авторах:

НИКОЛАЕВА Наталья Евгеньевна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Nikolaeva.NE@tversu.ru.

ЕМЕЛЬЯНОВА Алла Александровна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Emelyanova.AA@tversu.ru.

Николаева Н.Е. Развитие очага поражения ясеней г. твери ясеновой изумрудной златкой *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) / Н.Е. Николаева, А.А. Емельянова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 64-81.

Дата поступления рукописи в редакцию: 14.11.24
Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

УДК 595.773.1
DOI: 10.26456/vtbio386

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЛОГЕНИЯ РОССИЙСКИХ ВИДОВ РОДА *DOLICHOPUS* LATREILLE, 1796 (DIPTERA, DOLICHOPODIDAE)*

М.А. Чурсина¹, И.Я. Гричанов², О.О. Маслова¹

¹Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж

²Всероссийский институт защиты растений, Пушкин, Санкт-Петербург

На основании анализа 810 нуклеотидных признаков (COI) были изучены филогенетические связи между 50 видами рода *Dolichopus* Latreille, 1796, молекулярные данные 26 из которых были введены в анализ впервые. В результате анализа были выделены группы видов, которые демонстрируют значительное морфологическое сходство, а также группы, которые достоверно выделяются на основании молекулярных данных, однако лишь частично подтверждающиеся на основании сходства морфологических признаков. Признаки формы крыла часто демонстрировали сходство у видов, не имеющих близкого родства по молекулярным данным. Предварительно можно говорить о том, что высокую взаимосвязь с филогенией рода продемонстрировали признаки полового диморфизма ног.

Ключевые слова: *I* цитохром *c*-оксидаза, *Dolichopodidae*, *Dolichopus*, митохондриальная ДНК, морфология, филогения.

Введение. Род *Dolichopus* Latreille, 1796 в настоящее время включает в себя более 640 видов и является крупнейшим родом семейства *Dolichopodidae* (Grichanov, 2021). Виды данного рода широко распространены и демонстрируют наибольшее разнообразие в Палеарктическом регионе. Анализ филогении представителей рода производился ранее как на основе морфологических, так и молекулярных данных (Zang, Yang, 2005; Bernasconi et al., 2007a, b; Germann et al., 2010, 2011), однако исследования включали ограниченное количество видов, представленных, в основном, в восточной части Палеарктики. В данном исследовании мы впервые вводим в анализ молекулярные признаки 26 видов *Dolichopus*, которые

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и НФЦ по научно-исследовательскому проекту № 20-54-53005.

имеют, в том числе, центрально- и восточно-палеарктические ареалы обитания.

Для систематики видов *Dolichopus* традиционно используются такие морфологические признаки как: цвет лица и заглазничных щетинок, форма постпедицеля и окраска антенн, хетотаксия и цветовые характеристики ног, метрические признаки крыла и характеристики гипопигия самца. Кроме того, широко распространены различные признаки полового диморфизма самцов: удлинённый постпедицель, расширенная ариста, модификации отдельных сегментов конечностей, изменения окраски крыльев и утолщения костальной жилки. Наличие филогенетического сигнала в признаках той или иной категории до сих пор обсуждается (Bernasconi et al., 2007b; Chursina, Grichanov, 2019), поскольку возникновение сходных структур может объясняться не только эволюционной близостью видов, но и конвергентной эволюцией, как описано, например, для признаков полового диморфизма (Bonduriansky, 2006; Chursina, 2019).

Подробный анализ филогенетической значимости различных групп признаков важен для понимания эволюционных тенденций в семействе. Поэтому целью данного исследования являлся анализ родственных взаимосвязей между видами *Dolichopus* с учетом как Европейских видов, так и видов, обитающих на восточно-палеарктических территориях. Кроме того, была проанализирована филогенетическая значимость признаков традиционной морфологии *Dolichopus*, в том числе, признаки полового диморфизма.

Методика. Для молекулярного анализа использовались экземпляры, сохранённые в этаноле. Анализируемая молекулярная матрица включала последовательности митохондриального гена, кодирующего цитохром-с-оксидазу (COI), и содержала 810 признаков. В исследование были включены как последовательности, депонированные в GenBank ранее (GenBank, 2021), так и выделенные специально для настоящего исследования.

Было проанализировано 50 видов рода *Dolichopus* (Табл. 1), в том числе молекулярные данные 26 видов были получены впервые. Экземпляры для анализа были отобраны из коллекции кафедры зоологии и паразитологии Воронежского государственного университета (Воронеж, Россия), а также собраны авторами на протяжении 2020–2021 гг.

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили на предприятии «Синтол» (Россия). Амплификацию и секвенирование проводили с использованием методов и праймеров, описанных в других исследованиях (Simon et al., 1994; Simmons & Weller, 2001; Bernasconi et al., 2007b). Полученные последовательности выравнивали вручную с помощью программы BioEdit (Hall, 1999).

Таблица 1

Изученные виды рода *Dolichopus*.

№	Вид	Номер в GenBank
1	<i>D. acuticornis</i> Wiedemann, 1817	EU847538.1 ^A
2	<i>D. amurensis</i> Stackelberg, 1930	OK340616.1 [*]
3	<i>D. apicalis</i> Zetterstedt, 1849	OK491388.1 [*]
4	<i>D. arbustorum</i> Stannius, 1831	OK335810.1 [*]
5	<i>D. argyrotarsis</i> Wahlberg, 1850	OK335811.1 [*]
6	<i>D. asiaticus</i> Negrobov, 1973	OK340618.1 [*]
7	<i>D. austriacus</i> Parent, 1927	OK340619.1 [*]
8	<i>D. brevipennis</i> Meigen, 1824	AY744186.1 ^B
9	<i>D. campestris</i> Meigen, 1824	AY744212.1 ^B
10	<i>D. cilifemoratus</i> Macquart, 1827	AY958243.1 ^B
11	<i>D. claviger</i> Stannius, 1831	AY744206.1 ^B
12	<i>D. clavipes</i> Haliday, 1832	AY958248.1 ^B
13	<i>D. discifer</i> Stannius, 1831	AY744208.1 ^B
14	<i>D. excisus</i> Loew, 1859	AY958245.1 ^B
15	<i>D. festivus</i> Haliday, 1832	AY958236.1 ^B
16	<i>D. gubernator</i> Mik, 1878	OK446501 [*]
17	<i>D. jacutensis</i> Stackelberg, 1929	OK336092.1 [*]
18	<i>D. jaxarticus</i> Stackelberg, 1927	OK340613.1 [*]
19	<i>D. kjari</i> Stackelberg, 1929	OK340624.1 [*]
20	<i>D. latilimbatus</i> Macquart, 1827	AY744200.1 ^B
21	<i>D. lepidus</i> Staeger, 1842	AY744202.1 ^B
22	<i>D. linearis</i> Meigen, 1824	AY958239.1 ^B
23	<i>D. lineatocornis</i> Zetterstedt, 1843	OK340614.1 [*]
24	<i>D. litorellus</i> Zetterstedt, 1852	OK340622.1 [*]
25	<i>D. longicornis</i> Stannius, 1831	AY958240.1 ^B
26	<i>D. longitarsis</i> Stannius, 1831	OK336131.1 [*]
27	<i>D. meigeni</i> Loew, 1857	OK491386.1 [*]
28	<i>D. migrans</i> Zetterstedt, 1843	OK446551 [*]
29	<i>D. nataliae</i> Stackelberg, 1930	OK340621.1 [*]
30	<i>D. nitidus</i> Fallen, 1823	EU847539.1 ^A
31	<i>D. nubilus</i> Meigen, 1824	AY958244.1 ^B
32	<i>D. pennatus</i> Meigen, 1824	OK446503 [*]
33	<i>D. plumipes</i> (Scopoli, 1763)	EU847548.1 ^A
34	<i>D. plumitarsis</i> Fallen, 1823	OK340623.1 [*]
35	<i>D. popularis</i> Wiedemann, 1817	AY744190.1 ^B
36	<i>D. ptenopedilus</i> Meuffels, 1982	OK340617.1 [*]
37	<i>D. remipes</i> Wahlberg, 1839	OK446520 [*]
38	<i>D. rezvorum</i> Stackelberg, 1930	OK489436.1 [*]
39	<i>D. ringdahli</i> Stackelberg, 1930	OK491385.1 [*]
40	<i>D. sabinus</i> Haliday, 1838	OK336364.1 [*]
41	<i>D. signatus</i> Meigen, 1824	AY958235.1 ^B

42	<i>D. simius</i> Parent, 1927	OK340615.1 [*]
43	<i>D. simplex</i> Meigen, 1824	AY744203.1 ^B
44	<i>D. subpennatus</i> d'Assis Fonseca, 1976	OK446507 [*]
45	<i>D. trivialis</i> Haliday, 1832	AY744210.1 ^B
46	<i>D. unguatus</i> (Linnaeus, 1758)	EU847559.1 ^A
47	<i>D. urbanus</i> Meigen, 1824	AY744182.1 ^B
48	<i>D. vitripennis</i> Meigen, 1824	AY744195.1 ^B
49	<i>D. wahlbergi</i> Zetterstedt, 1843	EU847561.1 ^A
50	<i>D. zernyi</i> Parent, 1927	OK340620.1 [*]

Примечание: ^AGermann et al. (2010). ^BBernasconi et al. (2007b). ^CBernasconi et al. (2007a). *последовательности были получены авторами данного исследования.

Построение филогенетического дерева на основе молекулярных данных производилось в программе MEGA10 (Kumar et al., 2018). Использовались следующие методы: метод максимальной парсимонии (MP), минимальной эволюции (ME), максимального правдоподобия (ML), а также метод присоединения ближайшего соседа (NJ). Для оценки статистической значимости показателей использовался перестановочный тест с 1000 повторностями.

Результаты и обсуждение. Обзор выделенных групп видов с соответствующими индексами бут-стрэп поддержки представлен в таблице 2. Согласно деревьям, полученным на основе молекулярных данных, наиболее стабильно выделяются десять групп видов.

Таблица 2
Обзор результатов филогенетического анализа 50 видов *Dolichopus*

	Группа видов	MP	ML	ME	NJ
1	<i>D. arbustorum</i> – <i>D. argyrotarsis</i> – <i>D. asiaticus</i> – <i>D. zernyi</i>	86	95	90	97
2	<i>D. acuticornis</i> – <i>D. longicornis</i>	79	83	93	89
3	<i>D. cilifemoratus</i> – <i>D. festivus</i> – <i>D. trivialis</i>	97	99	99	99
4	<i>D. plumipes</i> – <i>D. simplex</i>	100	100	100	100
5	<i>D. popularis</i> – <i>D. urbanus</i>	100	99	100	100
6	<i>D. nubilus</i> – <i>D. latelimatus</i> – <i>D. excisus</i>	99	99	99	99
7	<i>D. kjari</i> – <i>D. jacutensis</i>	100	100	100	100
8	<i>D. pennatus</i> – <i>D. subpennatus</i> – <i>D. lineaticornis</i> – <i>D. litorellus</i>	85	88	75	82
9	<i>D. simius</i> – <i>D. ptenopedilus</i> – <i>D. plumitarsis</i>	100	100	100	100
10	<i>D. ringdahli</i> – <i>D. remipes</i>	94	90	99	98

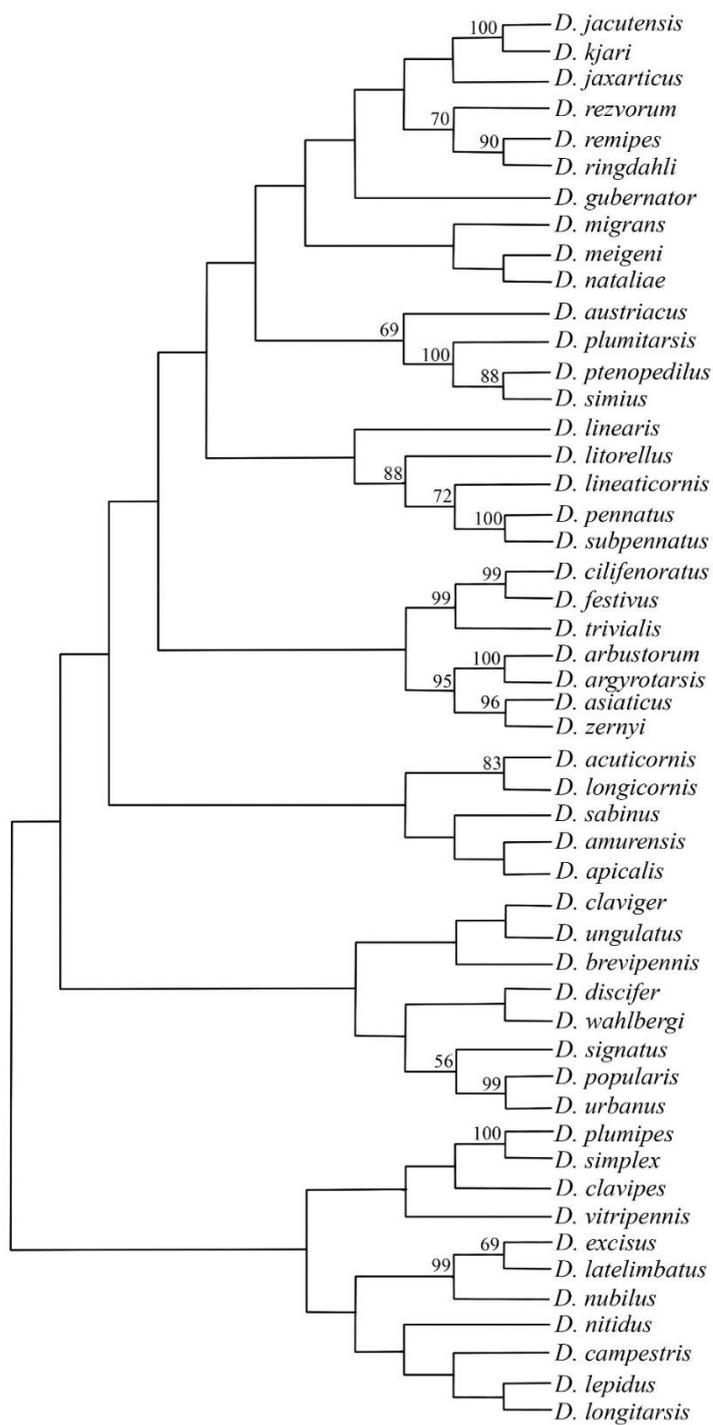


Рис 1. Дерево, построенное методом максимального правдоподобия на основании молекулярных данных 50 видов *Dolichopus* ($-Ln = 12732.87$). Индексы бут-стрэп поддержки, превышающие 50%, вычисленные на основании 1000 повторностей, указаны рядом с ветвями.

1. Группа *D. arbustorum* – *D. argyrotarsis* – *D. asiaticus* – *D. zernyi* – виды, морфологическое сходство которых затрагивает цветные характеристики ног (бедро, передние тазы и голени светлые), характеристики крыла – крыло не имеет утолщений костальной жилки, а также цвет постокулярных ресничек – светлые. Исходя из того, что эти черты свойственны большому числу видов *Dolichopus*, выделенная группа не может быть выделена на основании признаков традиционной морфологии. Кроме того, самцы *D. argyrotarsis* имеют модифицированные средние лапки – третий, четвёртый и пятый членики окрашены в серебристый цвет, в то время как лапки остальных видов в группе простые. Форма крыла, как и морфометрические характеристики ног *D. argyrotarsis* демонстрируют значимое сходство с *D. lineatocornis*, вида, самцы которого имеют сходные модификации средних лапок.

2. *D. acuticornis* – *D. longicornis* – с точки зрения традиционной морфологии следует отметить, что самцы обоих видов имеют удлинённый постпедицель, утолщение на костальной жилке (хотя и с различной локализацией), у них сходны цветные признаки ног за исключением задних ног, а также сходны характеристики церок. Кроме того, достоверное сходство демонстрирует форма крыла обоих видов. Значимого сходства по морфометрическим признакам ног не было выявлено. На всех деревьях, построенных на основании молекулярных данных, данная группа также выделяется в высокой бут-стреп поддержкой.

3. Одной из наиболее достоверно выделяемых групп видов, в том числе, и в других исследованиях (Bernasconi et al., 2007b), является группа *D. cilifemoratus* – *D. festivus* – *D. trivialis*. Все три вида имеют как значительное сходство согласно традиционным морфологическим признакам: светлые бедра, передние тазы и передние и средние голени, наличие длинных ресничек на задних бёдрах, но также и по морфометрическим признакам крыла: костальная жилка утолщена в месте впадения R_1 , длина апикального отрезка M_4 примерно равна длине задней поперечной жилки. Кроме того, самцы всех трёх видов имеют сходную модификацию передних лапок – все членики несут торчащие щетинки. Однако, значимого сходства по морфометрическим признакам ног не наблюдается, что может говорить о низкой филогенетической значимости признаков ног в данной группе видов, вероятно, связанной с изменениями, касающимися полового диморфизма.

Другие исследователи (Pollet et al. 2010) также включают в эту группу *D. arbustorum*, который имеет ряд общих признаков с видами этой группы, но отличается от всех трёх полностью симметричными гипандрием и базивентральными эпандриальными лопастями,

реберной жилкой отсутствуют утолщения и мелкие стоячие щетинки на передней лапке. По нашим данным, *D. arbustorum* не имеет сходства ни по молекулярным характеристикам, ни по форме крыльев и морфометрическим характеристикам ног.

4. Выделение группы *D. plumipes* – *D. simplex* не подтверждается ни одним уникальным сочетанием морфологических признаков среди изученных видов, а также сходством морфометрических признаков, однако выделение данной группы на основании молекулярных признаков производится также в исследованиях других авторов (Bernasconi et al., 2007b), поэтому является достоверным. Важным диагностическим признаком самцов *D. plumipes* является двусторонне оперенный первый членик средних лапок в сочетании с тонкой голенью. По морфометрическим признакам ног *D. plumipes* демонстрирует значительное сходство с *D. wahlbergi*, самцы которого имеют сходную модификацию конечностей, однако ни на одном из деревьев, построенным на основании молекулярных признаков, группа *D. plumipes* – *D. simplex* не демонстрирует связи с *D. wahlbergi*.

В исследовании Поллета с соавторами (Pollet et al., 2010) анализ набора данных митохондриальной ДНК, состоящего из 1702 признаков, позволил отнести к группе *Dolichopus plumipes* вид *D. discifer* (= *D. nigricornis* Becker, 1917, не включаемый Meigen, 1824), который является единственным видом в группе, имеющий видоизмененную переднюю лапку (Khaghaninia et al., 2014). Этот результат интересен тем, что если *D. discifer* включить в эту данную группу видов, то это будет единственная группа, выделенная на основе молекулярных данных, в которую входят как виды с модифицированными передними лапками, так и виды с модифицированными средними ногами.

5. Выделение группы видов *D. popularis* и *D. urbanus* – среди выделенных нами групп, это единственный случай, когда виды со сходной модификацией средних конечностей самца также продемонстрировали сходство на основании молекулярных данных, хотя с точки зрения морфологических признаков, используемых для диагностики видов *Dolichopus*, *D. popularis* имеет большее сходство с такими видами как *D. lineaticornis*, *D. pennatus* и *D. signatus*. Согласно морфометрическим признакам, *D. popularis* имеет большее сходство с видами, для которых характерно наличие модификаций средних ног у самцов (*D. plumipes* или *D. subpennatus*).

6. Группа *D. nubilus* – *D. latelimbatus* – *D. excisus* была выделена ранее (Bernasconi et al., 2007b) на основании ряда морфологических признаков, из которых следует особо отметить такое уникальное сочетание черт, как волосы на лице и затемнение на вершине заднего

бедра. Сходства по морфологическим признакам ног и крыльев в данной группе не отмечается.

7. Группа *D. kjari* – *D. jacutensis* выделяется благодаря такому сочетанию признаков как светлое лицо и блестящий лоб, светлые нижние постокулярные реснички, светлые передние тазики, бедра, полностью светлые передние голени, полностью тёмные задние лапки. Самцы обоих видов группы имеют сходные признаки полового диморфизма: утолщение на костальной жилке и длинную апиковентральную щетинку на передних голених. Сходства на основании морфологии крыльев и ног выявлено не было.

8. В группе *D. pennatus* – *D. subpennatus* – *D. lineaticornis* – *D. litorellus* модификации средних ног наблюдаются только у *D. pennatus* и *D. subpennatus*, а утолщение костальной жилки, наоборот, у *D. lineaticornis* и *D. litorellus*. Общими признаками для видов группы являются в большей части черные антенны, удлинённый постпедицель, светлые передние тазики, бедра и голени и тёмные задние тазики. Самцы *D. lineaticornis* по форме крыла демонстрирует умеренное сходство с *D. pennatus*, тогда как форма крыла *D. subpennatus* более сходна с таковой *D. argyrotarsis*, который в данную группу был включен в исследовании других авторов (Pollet et al., 2010). По морфометрическим признакам ног самцы *D. lineaticornis* имеют сходство с *D. argyrotarsis*.

9. *D. simius* – *D. ptenopedilus* – *D. plumitarsis* – данная группа видов характеризуется сходной модификацией конечностей самцов – расширены и оперены четвёртый и пятый сегменты передних лапок. Кроме того, для самцов характерны длинные реснички на задних бёдрах. С точки зрения морфометрии ног все три вида, входящие в группу, демонстрируют достоверное сходство. Значительное сходство в форме крыла отмечается между *D. plumitarsis* и *D. cilifemorus*, самцы которого также имеют модифицированные конечности, хотя другой тип модификации.

10. В паре *D. ringdahli* – *D. remipes* только самцы *D. remipes* характеризуются половой модификацией конечностей. В остальном виды сходны по следующим признакам: антенны полностью чёрные, постпедицель не удлинён, развит анальный угол крыла, передние тазики и передние голени светлые, задние голени светлые в большей части.

Для видовой диагностики видов *Dolichopus* чаще всего применяются такие признаки как цветовые характеристики ног, постокулярных ресничек и ресничек на закрыльковых чешуйках, признаки хетотаксии ног (наличие длинной апиковентральной щетинки на передних голених самца, количество апикальных щетинок на средних и задних бедрах и количество дорсальных щетинок на

первом членике задних лапок), цветовые характеристики антенн, а также различные признаки полового диморфизма. Так, самцы часто имеют удлинённый постпедицель, демонстрируют длинные реснички на задних бёдрах, различные украшения на ногах, либо расширения на аристе. Самки видов *Dolichopus*, порой филогенетически не близких, часто морфологически сходны и вызывают затруднения при видовой диагностике.

Межвидовые различия в модификациях ног, антенн и прочих признаках полового диморфизма самцов предполагают, что решающей движущей силой в эволюции видов рода является половой отбор. Однако, до сих пор остаются неизученными основные тенденции изменчивости данных признаков, поскольку филогенетическая гипотеза должна быть основана на совокупности как морфологических, так и молекулярных данных. В данном исследовании мы провели сравнительный анализ различных групп признаков, включая как признаки, которые традиционно используются для видовой диагностики видов рода, так и молекулярные признаки для видов, ранее не изученных в данном контексте.

Мы ввели в анализ молекулярные признаки 26 видов *Dolichopus*, которые имеют, в том числе, центрально- и восточно-палеарктические ареалы обитания, и изучили филогению рода. При наложении морфологических признаков на построенную филогенетическую схемы, мы проанализировали филогенетическую значимость данных признаков.

Предварительно можно говорить о том, что высокую взаимосвязь с филогенией рода продемонстрировали признаки полового диморфизма ног. Реконструкция признаков полового диморфизма на основании филогенетических деревьев указывает на то, что модификации передних лапок самцов возникали у видов рода *Dolichopus* как минимум пять раз. А именно отдельно в таких группах как *D. simius* – *D. ptenipedilus* – *D. plumitarsis*, *D. cilifemoratus* – *D. festivus* – *D. trivialis*, отдельно для *D. migrans*, *D. gubernator*, *D. clavipes*. Как минимум, четыре раза у видов рода возникали модификации средних конечностей: у *D. pennatus* – *D. subpennatus*, отдельно для *D. argyrotarsis*, *D. popularis*, *D. plumipes*. В нашем исследовании присутствовал только один вид с модификацией задних конечностей – *D. remipes*, и он не продемонстрировал филогенетического родства с видами, имеющими модификации передних и средних ног.

Данный результат является предварительным, поскольку многие ветви построенных филогенетических деревьев не имеют высокой бут-стрэп поддержки, а значит, могут измениться при добавлении в анализ видов. Однако на данном этапе следует отметить, что в филогенетически подтверждённые группы попали виды с

модификациями одних и тех же пар ног: так, присутствуют смешанные группы, которые включают виды с простыми и виды с модифицированными ногами, но никогда – виды с модификацией передних и средних конечностей.

Учитывая высокое значение полёта в жилки имаго семейства, форма крыла долихоподид неоднократно изучалась, и было показано, что признаки формы несут филогенетический сигнал (Chursina, Negrobov, 2018). В ряде случаев этот вывод подтверждается в данном исследовании. Так, сходную форму крыла имеют виды *D. acuticornis* и *D. longicornis*; *D. cilifemoratus*, *D. festivus* и *D. trivialis*. Однако, в данном исследовании более детальное её изучение позволило утверждать, что не все группы, выделенные на основе молекулярных данных, имеют сходную форму крыла, в качестве примеров можно привести *D. plumipes* и *D. simplex*; *D. nubilus*, *D. latelimbatus* и *D. excisus*. Одним из возможных объяснений является то, что форма крыла – это адаптация к образу жизни и экологической нише, занимаемой видом, которая может различаться даже у близкородственных видов, а кроме того, форма крыла может быть приспособлением к изменению аэродинамики полёта, например, в случае расширения конечностей самцов.

В целом, результаты этого исследования позволяют нам сделать вывод об ограниченной филогенетической значимости большинства морфологических признаков, в том числе, признаков формы крыла и полового диморфизма ног. Вероятно, пути эволюционных изменений видов *Dolichopus* были разнообразны, и в ряде случаев изменения морфологии ног и крыльев действительно коррелировали друг с другом и с общим эволюционным путём вида, тогда как в других случаях имели место невзаимосвязанные изменения.

Список литературы

- Bernasconi M.V., Pollet M., Ward P.I. 2007a. Molecular systematics of Dolichopodidae (Diptera) inferred from COI and 12S rDNA gene sequences based on European exemplars // *Invertebrate Systematics*, 21. P. 453-470.
- Bernasconi, M.V., Pollet M., Varini-Ooijen M., Ward P.I., 2007b. Phylogeny of European *Dolichopus* and *Gymnopternus* (Diptera: Dolichopodidae) and the significance of morphological characters inferred from molecular data // *European Journal of Entomology*. Vol. 104. P. 601-617.
- Bonduriansky R. 2006. Convergent evolution of sexual dimorphism in Diptera // *Journal of Morphology*. Vol. 267. P. 602-611. DOI: 10.1111/evo.12100
- Chursina M.A., 2019. Convergent evolution of sexual dimorphism in species of the family Dolichopodidae (Diptera) // *Biodiversitas*. Vol. 20(9). P. 2480-2485.
- Chursina M.A., Negrobov O.P., 2018. Phylogenetic signal in the wing shape in the subfamily Dolichopodinae (Diptera, Dolichopodidae) // *Entomological Review*. Vol. 98(5). P. 515-527.

- GenBank*. National Center for Biotechnology Information. 2016. Дата обновления: 26.04.2021. URL: [https:// www.ncbi.nlm.nih.gov/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)
- Germann C., Pollet M., Wimmer C., Bernasconi M.V.*, 2011. Molecular data sheds light on the classification of long-legged flies (Diptera, Dolichopodidae) // *Invertebrate Systematics*. Vol. 25. P. 303-321.
- Germann C., Pollet M., Tanner S., Backeljau T., Bernasconi M.V.*, 2010. Legs of deception: disagreement between molecular markers and morphology of long-legged flies (Diptera, Dolichopodidae) // *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. Vol. 48 (30). P. 238-247.
- Grichanov I.Ya.* 2021. Alphabetic list of generic and specific names of predatory flies of the epifamily Dolichopodoidae (Diptera). (Online version). Saint Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection. Available from: 5 (Accessed 1 Apr. 2021).
- Hall, T.A.*, 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Window 95/98/NT // *Nucleic Acids Symposium Series*. Vol. 41. P. 95-98.
- Khaghaninia S., Gharajedaghi Y., Grichanov I.Ya.* 2014. The *Dolichopus plumipes* species group (Diptera, Dolichopodidae) in the Palaearctic Region with the description of a new species from Iran // *Journal of Insect Biodiversity*. Vol. 2(1). P. 1-9. DOI: 10.12976/JIB/2014.2.1
- Pollet M., Germann C., Tanner S., Bernasconi M.V.* 2010. Hypotheses from mitochondrial DNA: congruence and conflict between DNA sequences and morphology in Dolichopodinae systematics (Diptera: Dolichopodidae) // *Invertebrate Systematics*. Vol. 24. P. 32–50. DOI: 10.1111/zoj.12065
- Simon C., Frati F., Beckenbach A., Crespi B., Liu H., Flook P.*, 1994. Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene and a complication of conserved polymerase chain reaction primers // *Annals of the Entomological Society of America*. Vol. 87. P. 651-701.
- Simmons R.B., Weller S.J.*, 2001. Utility and evolution of cytochrome b in insects // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. Vol. 20. P. 196–210.
- Zhang L., Yang D.*, 2005. A study on the phylogeny of Dolichopodinae from the Palaearctic and Oriental realms, with description of three new genera (Diptera, Dolichopodidae) // *Acta Zootaxonomica Sinica*. Vol. 30(1). P. 180-190.

MOLECULAR PHYLOGENY OF RUSSIAN SPECIES THE GENUS *DOLICHOPUS* LATREILLE, 1796 (DIPTERA, DOLICHOPODIDAE)

M.A. Chursina¹, I.Ya. Grichanov², O.O. Maslova¹

¹Voronezh State Pedagogical University, Voronezh

²All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg – Pushkin

Based on the analysis of 810 nucleotide characters (COI), phylogenetic relationships between 50 species of the genus *Dolichopus* Latreille, 1796 were studied, the molecular data of 26 species were introduced into the analysis for the first time. As a result of the analysis, groups of species

demonstrate significant morphological similarity were identified, as well as groups supported based DNA, but only partly on morphology. Wing shape characters have often shown similarities in species not closely related based on molecular data. Preliminarily, we can say that legs sexual dimorphism characters demonstrated a high correlation with the phylogeny of the genus.

Keywords: *cytochrome oxidase I, Dolichopodidae, Dolichopus, mitochondrial DNA, morphology, phylogeny.*

Об авторах:

ЧУРСИНА Мария Александровна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», 394043, Воронеж, ул. Ленина, 86, e-mail: chursina.1988@list.ru.

ГРИЧАНОВ Игорь Яковлевич – доктор биологических наук, руководитель лаборатории фитосанитарной диагностики и прогнозов Всероссийского института защиты растений. 196608, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, e-mail: grichanov@mail.ru.

МАСЛОВА Ольга Олеговна – кандидат биологических наук, заведующая кафедрой ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», 394043, Воронеж, ул. Ленина, 86, e-mail: oomvsru@yandex.ru.

Чурсина М.А. Молекулярная филогения российских видов рода *Dolichopus* Latreille, 1796 (Diptera, Dolichopodidae) / М.А. Чурсина, И.Я. Гричанов, О.О. Маслова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 82-93.

Дата поступления рукописи в редакцию: 08.10.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

БОТАНИКА

УДК 630.443 (470.331)
DOI: 10.26456/vtbio387

ЭКОЛОГИЯ И БИОМОРФОЛОГИЯ НЕДОТРОГИ МЕЛКОЦВЕТКОВОЙ (*IMPATIENS PARVIFLORA* DC.)

А.Т. Гребенникова, Л.В. Зуева, Е.А. Андреева
Тверской государственный университет, Тверь

Описаны результаты изучения недотроги обыкновенной в условиях Тверской области. Рассмотрена общая характеристика недотроги мелкоцветковой; выявлены ее особенности экологии и биоморфологии как инвазионного вида; охарактеризован ресурсный потенциал недотроги мелкоцветковой, разработаны меры борьбы и регуляции численности вида.

Ключевые слова: *недотрога обыкновенная, инвазионный вид, Тверская область, семенная продуктивность, биологическая и репродуктивная активность.*

Введение. В настоящее время природные ландшафты претерпевают множество последствий техногенной трансформации. Одним из них является активное заселение территорий чужеродными видами, проявляющими биологическую и репродуктивную активность в новых условиях среды, тем самым заменяя аборигенные виды, и, таким образом, упрощая и нарушая структуру фитоценоза (Виноградова и др., 2010, Виноградова и др., 2011). Одним из таких видов является растение семейства бальзаминовых (*Balsaminaceae*) – недотрога мелкоцветковая *Impatiens parviflora* DC. Более глубокое рассмотрение и изучение особенностей данного вида, благодаря которым он легко приспосабливается и размножается на чужих территориях, делают данную тему очень актуальной.

Инвазионные виды, проявляющие биологическую и репродуктивную активность в новых условиях среды, вытесняют аборигенные виды, что приводит к изменению природных ландшафтов. Инвазии, приводящие к нарушению растительного покрова, содержат в себе большую экологическую проблему, влияющую на сельскохозяйственную деятельность человека (Мейсурова и др., 2017, Нотов и др., 2017а, Нотов и др., 2027б, Нотов и др., 2019). Также чужеродные виды являются новыми растениями-хозяевами для различных возбудителей заболеваний и паразитов.

В городе Тверь одним из таких видов является недотрога мелкоцветковая *Impatiens parviflora* DC – однолетнее травянистое растение, высотой 80-120 см, распространяющееся только семенами. Стебель растения прямостоячий, иногда ветвистый, почти вздутый в узлах. Большая часть листьев скучена на верхушке стебля. Цветки у нее протерандричные, располагаются по 3-10 на оттопыренных выходящих из пазух листьев длинных цветоносах, желтого цвета, имеют шпорец (Юсуфова, 2016). Недотрога растет на различных почвах, но достаточно увлажненных, богатых мягким гумусом, содержащих минеральный азот между средним и высоким (6-я ступень), при условии, что они хорошо аэрируются и не подтопляются. Предпочитает почвы, которые очень богаты различными основаниями, но не обязательно карбонатами, с рН корнеобитаемого слоя от 4,5 до 7,6. Но также может расти на очень бедных и нарушенных почвах, преимущественно вдоль водоемов с облесенными берегами, на придорожных канавах, болотах, опушках леса, парках, огородах, садах.

Более глубокое рассмотрение и изучение особенностей данного вида, благодаря которым он легко приспосабливается и размножается на чужих территориях, делают данную тему очень актуальной.

Целью работы являлось изучение экологии и биоморфологии недотроги мелкоцветковой как инвазионного вида. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определить специфику географического распространения недотроги мелкоцветковой в Средней и Центральной России; рассмотреть общую характеристику недотроги мелкоцветковой; выявить особенности экологии недотроги мелкоцветковой; изучить анатомо-морфологические особенности недотроги мелкоцветковой как инвазионного вида; охарактеризовать ресурсный потенциал недотроги мелкоцветковой и разработать меры борьбы и регуляции численности вида.

Методика. Материал для исследований отбирался в трех местах города Тверь: 1 – Комсомольская роща, 2 – Бобачевская роща, 3 – территории в районе Морозовских казарм в период с июня по сентябрь 2023 года. Изучалась динамика роста растения за весь вегетационный период, также проводился подсчет количества генеративных органов, изучался фитоценоз, в котором произрастала недотрога. Были проведены анатомические исследования стебля и корневой системы растения. Использовалась стандартная методика для изготовления срезов на временных препаратах с окрашиванием флюороглюцином в кислой среде (HCl).

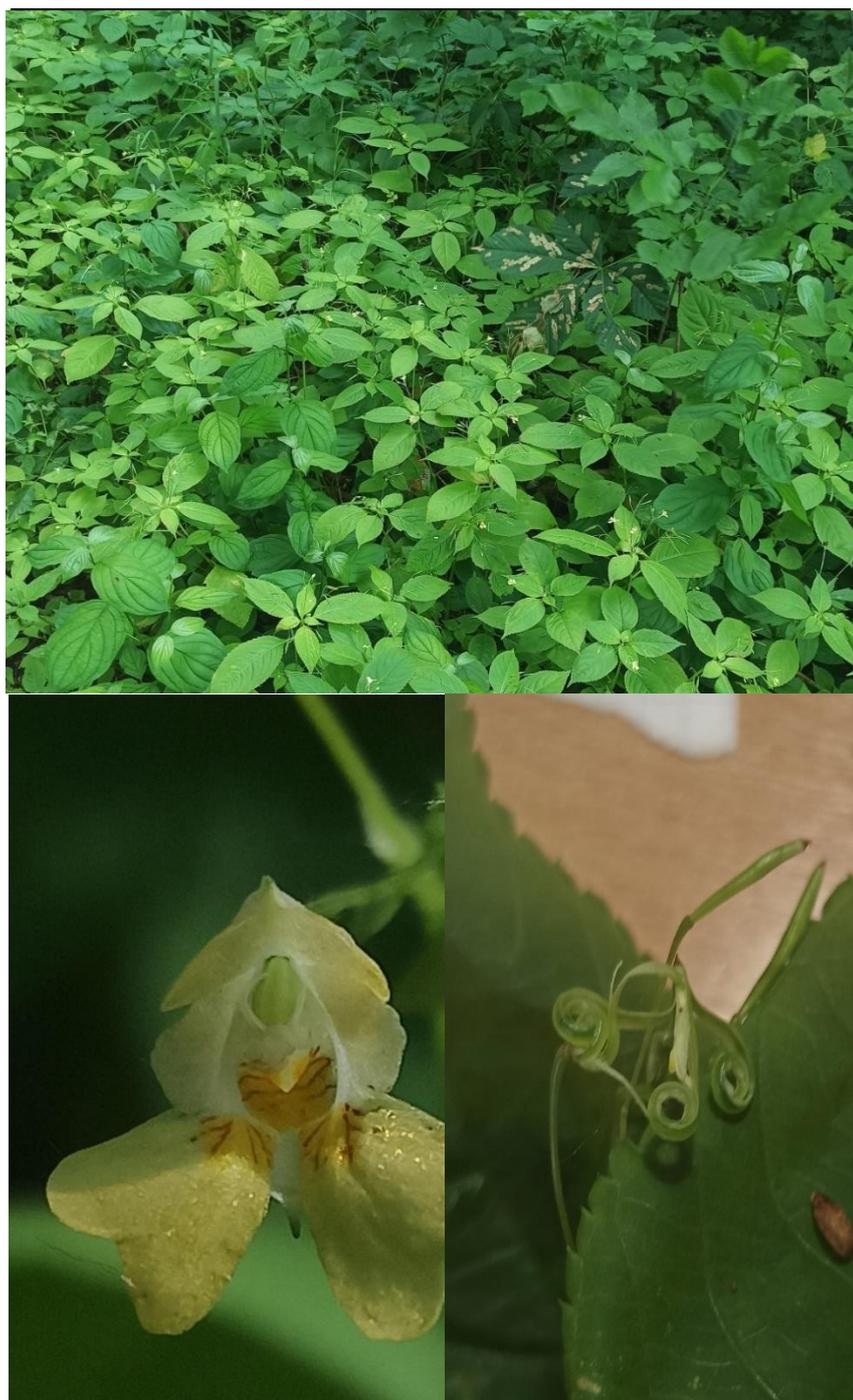


Рис. 1. Морфологические особенности недотроги обыкновенной

Результаты и обсуждение. Недотрога мелкоцветковая это однолетнее травянистое растение с прямостоячим, иногда ветвистым

стеблем, почти вздутым в узлах (Колосова, 2007). Большая часть листьев скучена на верхушке стебля, первая пара имеет супротивное листорасположение, а последующие - очередное, по краю листья имеют зубцы. Цветоносы прямостоячие, формируются в пазухах верхних листьев, и возвышаются из 4-12 маленьких протерандричных цветков, желтого цвета, имеющих шпорец. Чашечка состоит из 3 лепестковидных листочков. Венчик состоит из 5 лепестков, но 4 лепестка попарно срастаются, поэтому он кажется трехчленным (Юсуфова, 2016).

Естественным ареалом недотроги являются территории Средней Азии. В начале 1970-х годов началось интенсивное расширение вторичного ареала недотроги в Европейской части России. Сейчас растение произрастает во всех областях Средней России. Недотрога образует заросли и вытесняет многие виды с их исконной территории. Однако, если недотрога вторгается в сообщество многолетников, то есть вероятность того, что она не выдержит конкуренцию с ними.

Плод растения внешне представляет собой цилиндрическую вытянутую коробочку, которая в верхушечной части шире, чем у основания. Плод вскрывается пятью створками, которые, спирально закручиваясь, с силой отскакивают от центральной колонки и при этом резко разбрасывают семена. Семена бурой окраски, удлинённые, сплюснутые.

Исследования проводились в трех местах города Твери: Комсомольская роща, Бобачевская роща и Морозовские казармы. Во всех трех местообитаниях недотроги мелкоцветковой изучалась динамика роста растения за весь вегетационный период (июнь - сентябрь), также проводился подсчет количества семян (рис. 1) и изучался фитоценоз, в котором произрастала недотрога.

По нашим наблюдениям *I. parviflora* образует заросли и вытесняет многие виды с их исконной территории. Но есть некоторые виды растений, которые могут встречаться как в самом сообществе с недотрогой, так и рядом с ней, занимая свободные ниши. Такими видами являются: *Anthriscus sylvestris* L., *Dactylis glomerata* L., *Urtica dioica* L., *Lamium album* L., *Arctium tomentosum* Mill., *Impatiens glandulifera* Royle, *Chelidonium majus* L., *Trifolium pratense typus* L., *Fragaria vesca* L., *Alchemilla vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Acer platanoides* L., *Betula pendula* Roth, *Acer negundo* L., *Rosa majalis* Herrm. и многие другие (Гребенникова и др., 2024).

Плод растения представляет собой продолговатую или цилиндрическую коробочку, несколько расширенную сверху. Семена – бурой окраски, матовые, удлинённые или продолговато-эллиптические.

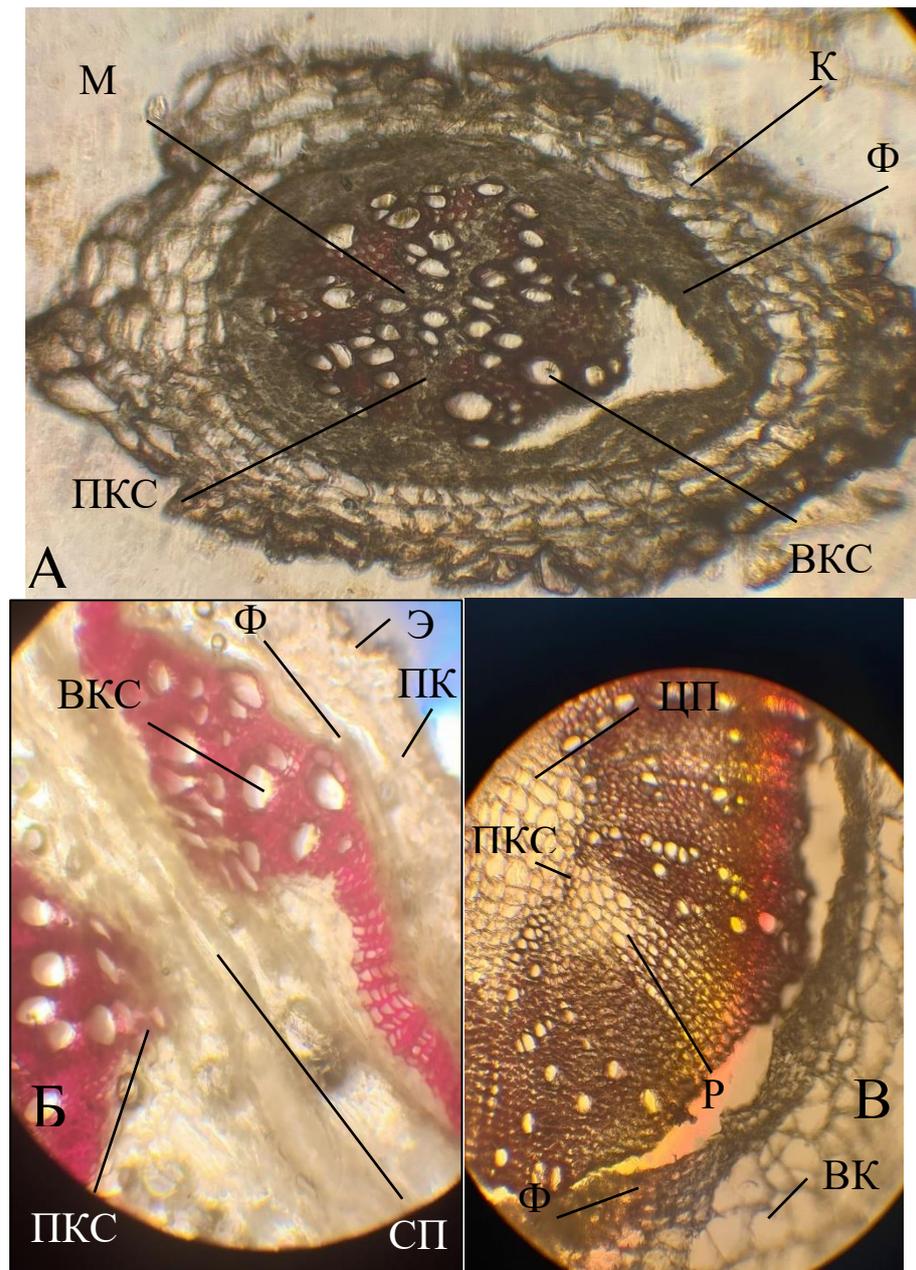


Рис. 2. Особенности анатомического строения недотроги обыкновенной (А - поперечный срез корня: к – кора, вкс – вторичная ксилема, ф – флоэма, м – метаксилема, пкс – протоксилема; Б - часть поперечного среза стебля *parviflora* в основании гипокотыля: э – эпидерма, пк – пластинчатая колленхима, сп – сердцевинная полость, ф – флоэма, пкс – первичная ксилема, вкс – вторичная ксилема; В – часть поперечного среза корня: цп – центральная паренхима, пкс – первичная ксилема, вкс – вторичная ксилема, ф – флоэма, вк – вторичная кора, р – радиальный луч)

У недотроги мелкоцветковой сильно варьирует семенная продуктивность. Минимальное число семян, найденное у *I. parviflora* в ходе исследований – 1, а максимальное – 3.

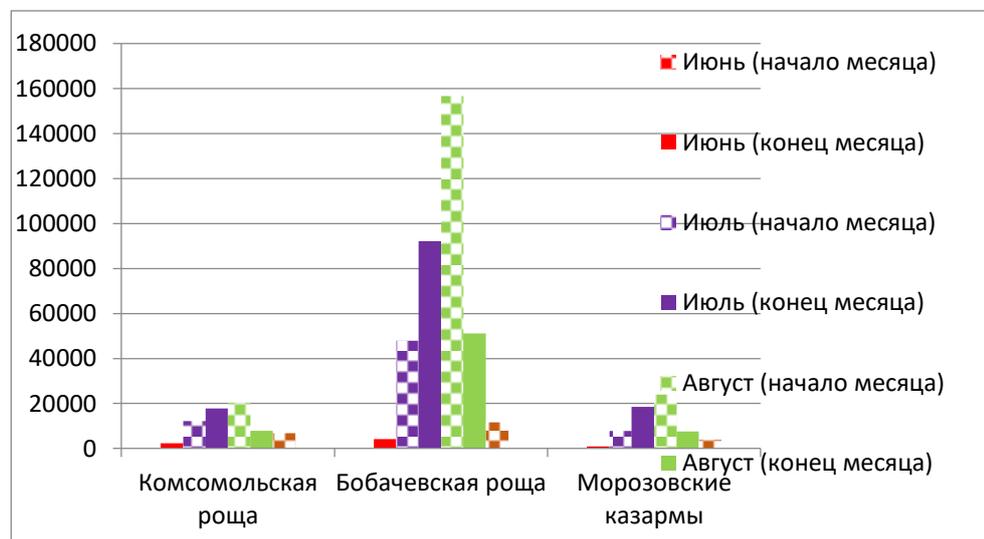


Рис. 3. Количество семян за весь вегетационный период *I. parviflora*

Из полученных данных можно заметить, что семенная продуктивность *I. parviflora* достигает максимальных значений в начале августа во всех трех местах обитания. Такое большое количество семян в начале августа, можно объяснить тем, что растения недотроги находились в средневозрастном состоянии, то есть в процессе онтогенеза они достигли пика своего развития. Наибольшее число семян было отмечено в Бобачевской роще, так как площадь исследуемого участка была больше, чем в Комсомольской роще и Морозовских казармах и в ней прорастало большое количество растений недотроги (табл. 1).

Таблица 1

Наибольшее число растений и семян *I. parviflora* на исследуемых участках в течение всего вегетационного периода

	Исследуемая площадь, м ²	Число растений, шт.	Число семян, шт.
Комсомольская роща	40	465	20367
Бобачевская роща	60	1493	156765
Морозовские казармы	20	238	23990,4

Также было отмечено, что в Бобачевской роще на 1 м² произрастало намного больше растений, чем в Комсомольской роще и Морозовских казармах (табл. 2). А в Комсомольской роще и Морозовских казармах растений на 1 м² было почти одинаково. Максимальное число семян отмечено в Бобачевской роще - 2612,75 шт./м², а минимальное число семян – Комсомольской роще - 509,2 шт./м².

Таблица 2

Число растений и семян *I. parviflora* на 1 м² исследуемого участка

	Число растений, шт.	Число семян, шт.
Комсомольская роща	11,6	509,2
Бобачевская роща	24,8	2612,75
Морозовские казармы	11,9	1199,52

Недотрога обгоняет соседние виды травянистого яруса леса по высоте, благодаря раннему прорастанию и интенсивному сезонному росту, и поэтому в ее популяциях преобладает внутривидовая борьба за свет. По нашим данным (рис. 2) можно заметить, что максимальной высоты растение достигает в конце июля в рощах и этот показатель достигает 87 см, а также в конце августа в Морозовских казармах – 92 см.

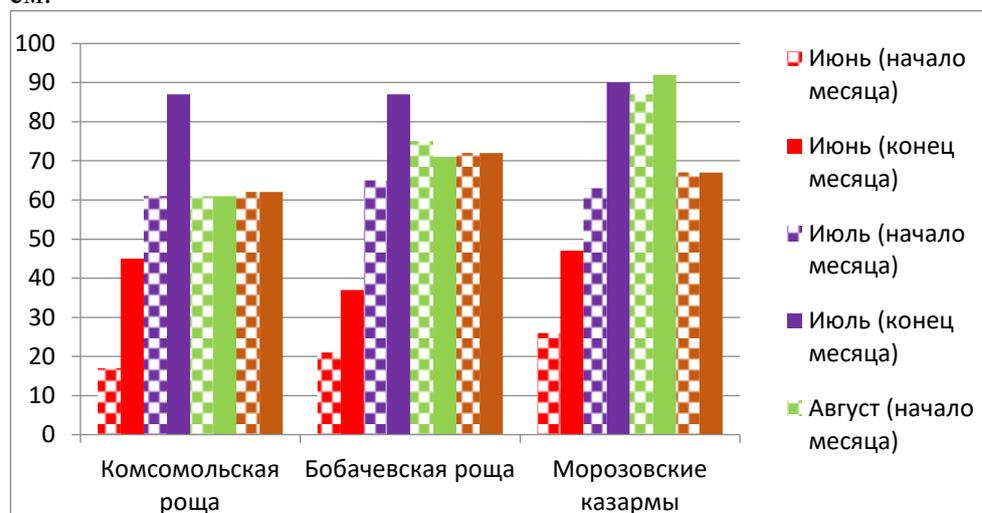


Рис. 4. Максимальная высота недотроги мелкоцветковой в разные периоды роста

С начала июля по конец августа наблюдается активный рост вегетативных частей растения. Максимального роста достигают к концу июля и в таком состоянии вегетируют до конца августа. В середине и конце сентября происходит отмирание частей растения и

старение обсеменившихся растений недотроги.

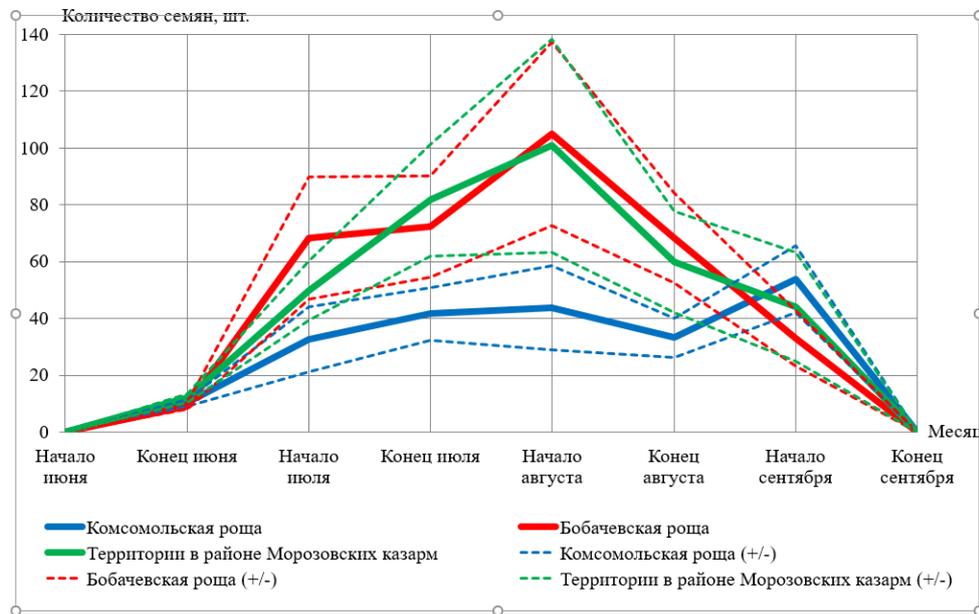


Рис. 5. Число семян на одном растении *I. parviflora*

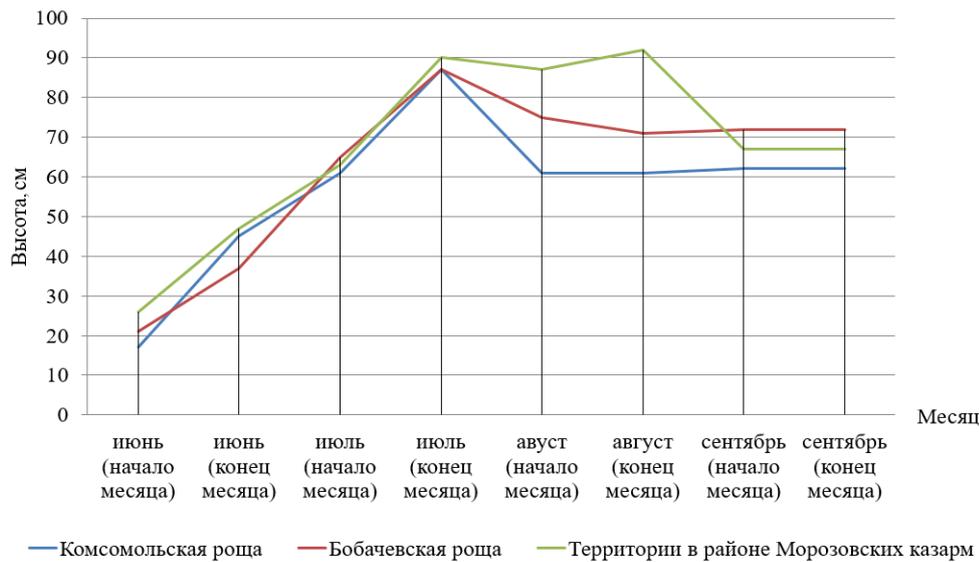


Рис. 6. Динамика роста и развития *I. parviflora*

Еще одним не менее важным фактором является солнечный свет. Рост растений в высоту зависит от множества факторов. Одним из таких факторов является содержание питательных веществ в почве.

Возможно, недостаток каких-либо химических веществ привел к тому, что в Морозовских казармах растение достигло наибольшего значения в росте значительно позднее, чем в Комсомольской и Бобачевской рощах.

В Морозовских казармах большая площадь исследуемого участка, где произрастала недотрога мелкоцветковая, находилась в затенение. Поэтому это также могло повлиять на скорость роста растения.

Несмотря на то, что *I. parviflora* является инвазионным видом и ядовитым растением, ей нашли применение в медицине, так как она обладает разнообразными полезными свойствами.

Так, например, свежий экстракт из листьев используется для лечения ревматоидного артрита. Недотрогу, как природный антидот, применяют наружно при химических ожогах кожи, которые могли быть вызваны различными растениями, например, крапивой. Свежий растительный материал является антимикробным и антиоксидантным средством, который может использоваться для производства оздоровительных пищевых добавок. При укусах ядовитых змей, к месту, где расположена рана, прикладывают семена и цветки, а внутрь принимают настой травы этого растения. Растение обладает фунгицидным действием. Поэтому свежие измельченные листья могут применяться при лечении стригущего лишая.

Также Среднеазиатские виды *I. parviflora* используются местными жителями как краситель, а раньше ее разводили как декоративное растение в парках и садах Европы.

I. parviflora является достаточно агрессивным видом, так как образует большое количество семян и разбрасывает их на расстояние 1-2 м, тем самым захватывает новые территории, вытесняет местные виды и снижает биоразнообразие. Поэтому все меры борьбы с ним должны быть направлены на предотвращение распространения и образование семян.

Семена прорастают ранней весной, поэтому эффективным методом борьбы с растениями может быть обрезка и выдергивание их в фазе цветения перед закладкой семян. Но этот метод применим на начальной стадии вторжения и на небольших территориях, так как требует много времени.

Ликвидация рудеральных местообитаний в охраняемых районах является наиболее эффективным способом уменьшения численности существующих популяций и распространения недотроги мелкоцветковой. Популяции данного растения уничтожают механическим путем: выдергиванием, скашиванием, перекапыванием.

Использование гербицидов успешно препятствует прорастанию растений, но такой гербицид как глифосат нельзя использовать повсеместно и постоянно.

Еще одним методом борьбы с недотрогой мелкоцветковой являются биологические агенты. Например, фитопатогенные грибы, наиболее эффективным является *P. komarovii*, этот гриб может уничтожить всю популяцию недотроги. Еще одним биологическим агентом, который питается листьями недотроги, является *Cepaea sp.* семейства *Helicidae* и *Columella edentula* семейства *Truncatellinidae*. Недотрога мелкоцветковая используется не только в качестве корма для улиток, но и в качестве защиты от прямых солнечных лучей и хищников. Побегам *I. parviflora* питается только косуля *Capreolus capreolus*. Другие животные, например, кролики и грызуны, не питаются этим растением.

Таким образом, необходимо изучать данный вид и проводить тщательное наблюдение и контроль над ним.

Заключение. Недотрога является достаточно агрессивным видом и быстро захватывает новые территории, тем самым вытесняет местные виды и снижает биоразнообразие. Поэтому, все меры борьбы должны быть направлены на предотвращение распространения и образование семян. Такими методами борьбы являются: механическое удаление растений, ликвидация рудеральных местообитаний в охраняемых районах (национальные парки, природные заповедники и т.д.), использование гербицидов и биологические агенты (фитопатогенные грибы, улитки, косуля). Таким образом, данный вид необходимо изучать и проводить тщательное наблюдение и контроль над ним.

Естественный ареал недотроги мелкоцветковой – Средняя Азия. В России вторичный ареал расширялся сначала медленно, но лишь в начале 1970-х годов началось быстрое его расширение в европейской части России. Сейчас растение произрастает во всех областях Средней России; *I. parviflora* это однолетнее травянистое растение, с прямым, иногда ветвистым стеблем и смешанной корневой системой. Большая часть листьев скучена на верхушке стебля, расположены супротивно и очередно, имеют зубцы по краю. Цветоносы прямостоячие, состоят из 4-12 протерандричных цветков, желтого цвета, имеющих шпорец. Чашечка состоит из 3 лепестковидных листочков, венчик из 5 лепестков, тычинок и пестиков 5. Плод представляет собой коробочку, в которой созревает 1-4 семени; Состав фитоценоза определяется местообитанием недотроги. Если *I. parviflora* вторгается в сообщество многолетников, то она не выдержит конкуренцию с ними и будет находиться в том же ярусе, что и преобладающие виды. Но если густота стояния недотроги на единице площади будет высокой, то

некоторые растения будут находиться в нижнем ярусе; У *I. parviflora* высокий инвазионный потенциал. Он характеризуется большой семенной продуктивностью – от $53,8 \pm 11,65$ до $105 \pm 32,32$ шт., а также способностью к быстрому росту в высоту. Анатомические исследования показали, что стебель *I. parviflora* имеет типичное, свойственное для двудольных травянистых растений строение. В то время как корни, возникшие в верхней части гипокотила, имеют типичную структуру придаточных корней, а корни на коллете отличаются наличием хорошо выраженной центральной паренхимы, напоминающей сердцевину стебля; Недотрога мелкоцветковая – ядовитое растение, но, несмотря на это, ее применяют в медицине. Также ее используют для получения красителей и в качестве декоративного растения парков и садов. Меры борьбы связаны с недопуском образования и распространения семян растением.

Список литературы

- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А.* 2011. Черная книга флоры Тверской области: чужеродные виды растений в экосистемах Тверского региона. М.: Товарищество научных изданий КМК. 292 с.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В.* 2010. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС. 512 с.
- Гребенникова А.Т., Зуева Л.В.* 2024. Экология и биоморфология недотроги мелкоцветковой // Биологический факультет. Материалы XXII науч. Конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Тверь, 25 апреля 2024 года.. Тверь: Изд-во ТвГУ. С. 25.
- Колосова Л.В.* 2007. Флора Валдайской возвышенности: специальность 03.00.05: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук – М. 291 с.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Зуева Л.В.* [и др.] 2017. Комплексный биомониторинг экосистем Верхневолжья как компонент региональной стратегии сохранения биоразнообразия // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию каф. ботаники Тверского государственного университета, Тверь, 08–11 ноября 2017 года. Тверь: ТвГУ. С. 243–245.
- Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Зуева Л.В.* [и др.] 2017. Инвазионные растения на водоемах Тверской области // Изучение адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: итоги, проблемы, перспективы: Материалы V междунар. науч. конф., Ижевск, 06–08 сентября 2017 года / Под ред. О.Г. Барановой и А.Н. Пузырева. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований. С. 91–95.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Зуева Л.В., Андреева Е.А.* 2019. Инвазионные виды растений в лесных экосистемах Верхневолжья // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения: Материалы II Международной

- научно-практической конф., Киров, 27–31 мая 2019 года. Киров: Вятский государственный университет. С. 278-282.
- Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Зуева Л.В., Нотов В.А., Андреева Е.А., Иванова С.А. 2017. Некоторые итоги реализации модели комплексного биомониторинга экосистем Верхневолжья // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 244-269.
- Зуева Л.В. 2020. Флора и география Тверской области *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622286* Российская Федерация.: № 2020622096 : заявл. 03.11.2020 : опубл. 16.11.2020 ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет».
- Юсуфова В.З. 2016. Особенности биоморфологии и популяционной биологии трех видов Недотрог – *Impatiens noli-tangere* L., *Impatiens parviflora* DC., *Impatiens gradulifera* Royle. [Электронный ресурс] / Московский педагогический государственный университет.

ECOLOGY AND BIOMORPHOLOGY OF THE SMALL BALSAM (*IMPATIENS PARVIFLORA* DC.)

A.T. Grebennikova, L.V. Zueva, E.A. Andreeva
Tver State University, Tver

The results of studying the nedotroga vulgaris in the conditions of the Tver region are described. The general characteristics of the small-flowered nedotroga are considered; its features of ecology and biomorphology as an invasive species are revealed; the resource potential of the small-flowered nedotroga is characterized and measures to control and regulate the number of the species are developed.

Keywords: *nedotroga vulgaris, non-invasive species, Tver region, seed productivity, biological and reproductive activity.*

Об авторах:

ГРЕБЕННИКОВА Анастасия Тагировна – магистрант направления 06.04.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: botany@tversu.ru.

ЗУЕВА Людмила Викторовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: zuevabio2012@yandex.ru

АНДРЕЕВА Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: el-an72@yandex.ru.

Гребенникова А.Т. Экология и биоморфология недотроги обыкновенной (*Imatiens parviflora* DC) / А.Т. Гребенникова, Л.В. Зуева, Е.А. Андреева // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 94-106.

Дата поступления рукописи в редакцию: 03.09.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 636.2.087.7
DOI: 10.26456/vtbio388

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ «SILACCESS» НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ БЫЧКОВ

Л.В. Алексеева, П.С. Камынин

Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь

В статье представлен анализ влияния ультрадисперсной минеральной подкормки Silaccess на показатели крови. Экспериментально доказаны положительные результаты по увеличению морфофизиологических и биохимических показателей крови, повышению кроветворных функций организма, повышению интенсивности минерального обмена.

Ключевые слова: минеральные элементы, кровь, гомеостаз, эритроциты, гемоглобин, белковый обмен, эффективность.

В Тверской области наблюдается недостаток йода, кобальта и меди, как в почве, так и в рационе, что влияет на качество кормов и приводит к нарушениям обмена веществ, а это, в свою очередь, отражается на качестве сырого молока (Георгиевский, 1990).

Исследования проводились на бычках герефордской породы в ООО «Кашин Луг» Тверской области, Кашинского района.

Основная задача эксперимента – изучить влияние минеральной добавки Silaccess на морфологические и биохимические показатели крови, рост и развитие бычков герефордской породы.

Для исследований нами были сформированы 3 группы бычков по методу пар-аналогов, при этом учитывали возраст - 8 месяцев, кондицию, живую массу.

Во время проведения исследований, животные получали одинаковый объем кормов и содержались в соответствии с требованиями зоогигиены (Викторов и др., 2003).

Кормление животных, отобранных для опыта, осуществляли рационами, которые были сбалансированы по детализированным нормам ВИЖ (Викторов и др., 2003). Нормы потребности питательных веществ молодняка при доращивании и откорме зависят от живой массы и среднесуточных приростов.

Основной рацион получали животные контрольной группы.

Животные первой опытной группы в течение 62-х дней

дополнительно к основному рациону получали минеральную добавку Silaccess в дозе 100 мг на голову в сутки, а животные второй опытной группы – в дозе 200 мг на голову в сутки.

В основном рационе бычков контрольной группы отмечается дефицит кальция, магния, серы, меди, цинка, кобальта и йода. При добавлении бычкам опытной группы минеральной добавки нехватка некоторых элементов уменьшилась.

Схема эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1

Схема эксперимента

Группа животных	Поголовье, гол.	Продолжительность эксперимента, дней	Рацион кормления
Контрольная группа	15	62	ОР*
Первая опытная группа	15	62	ОР + добавка Silaccess (100 мг на голову в сутки)
Вторая опытная группа	15	62	ОР + добавка Silaccess (200 мг на голову в сутки)

Примечание: * основной рацион

Как было указано ранее, для изучения мы выбрали препарат Silaccess, который выступает в качестве источника биодоступного кремния, а также представляющий собой смесь микропорошков микроэлементов, таких как железо, цинк, медь и кремний. Благодаря технологии, применяемой при производстве, кремний в данном препарате остается в элементарном состоянии вплоть до попадания в организм животного.

В биологии считается, что состав крови отражает нормальные и патологические процессы, происходящих в организме (Назарова, 2009).

Соблюдение оптимальных условий для животных, включающих кормление, уход и т.д., гарантирует стабильный гомеостаз, что отражается в биохимических показателях крови и свидетельствует об оптимальном состоянии органов и систем в организме (Арсанукаев и др., 2017).

К форменным элементам крови относятся эритроциты, лейкоциты, тромбоциты. Их содержание в единице объема крови относительно постоянно для бычков, не зависит от возраста, но зависит от физиологического состояния, условий окружающей среды.

Объем форменных элементов значительно меняется при различных патологиях.

Таблица 2

Клинические показатели крови

Показатели	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
Начало опыта			
Эритроциты (10 ¹² г/л)	6,6±0,6	6,7±0,7	6,5±0,5
Гемоглобин (г/л)	95±5,0	94±3,8	95±4,2
Лейкоциты (10 ⁹ г/л)	13,7±1,3	13,5±0,6	13,3±0,5
Конец опыта			
Эритроциты (10 ¹² г/л)	6,8±0,4	7,3±0,5	7,5±0,4
Гемоглобин (г/л)	98±4,0	110±5,0	117±3,2**
Лейкоциты (10 ⁹ г/л)	11,2±0,6	8,3±1,0*	8,2±0,7*

Примечание: *-0,05<P<0,01; **-0,01<P<0,001; ***-P<0,001

Мы видим, что количество эритроцитов в первой опытной группе, относительно начала эксперимента, увеличилось на 9%, а во второй опытной группе – на 15%; количество гемоглобина, относительно начала эксперимента, также увеличилось в первой и второй опытных группах на 17% и 23% соответственно. В контрольной же группе изменения, относительно начала эксперимента, произошли незначительные: содержание эритроцитов и гемоглобина увеличилось на 3%.

Произошли изменения и относительно контрольной группы: так содержание эритроцитов в опытной группе выше, чем в контрольной на 7%, а во второй опытной группе на 10%. Отмечается увеличение содержания гемоглобина в первой и второй опытных группах, чем в контрольной группе. Эти результаты указывают на улучшение кроветворных функций у опытных животных.

Таким образом, мы делаем вывод, что минеральная добавка Silaccess стимулирует образование эритроцитов и гемоглобина, тем самым, предполагает улучшение транспорта аминокислот, липидов, ферментов, гормонов, иммунных тел, продуктов метаболизма, благодаря чему обеспечивается питательная, защитная, ферментативная функция крови.

Поэтому, мы предполагаем, что применяемая в кормлении опытных животных добавка Silaccess всасывается более активно и быстрее по сравнению с солями и комплексными соединениями минеральных элементов, применяемыми в кормлении животных.

Как мы видим, содержание лейкоцитов в крови опытной группы животных, по сравнению с контрольной группой, уменьшилось на

26%, а во второй опытной группе на 27%, но находилось в пределах допустимых норм.

Это указывает на то, что иммунная система бычков из опытной группы стала менее напряженной. Мы предполагаем, что повышенное количество лейкоцитов в крови бычков в начале опыта свидетельствует о том, что организм не успел акклиматизироваться к погодным условиям, после зимы. После добавления минерального препарата, клеточный и гуморальный иммунитет в организме бычков опытной группы восстанавливается, обеспечивая тем самым генетический гомеостаз организма

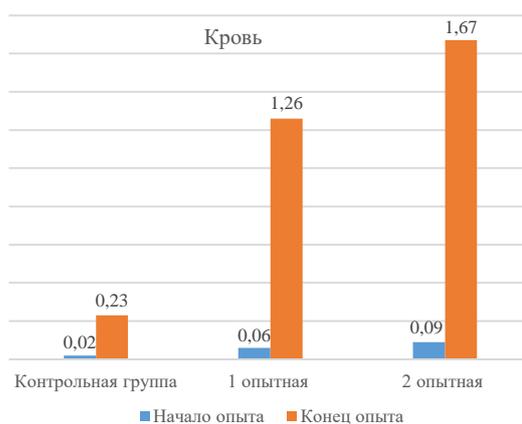


Рис. 1. Содержание кобальта в крови, (в сухом веществе), мг/кг

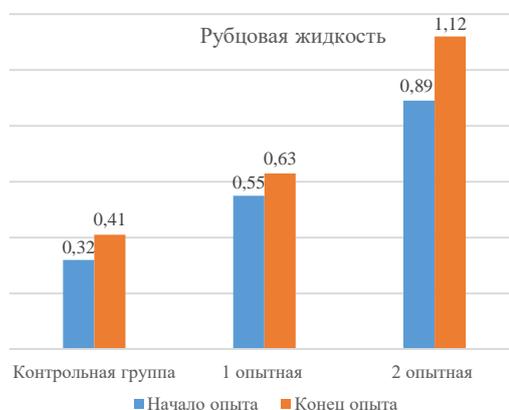


Рис. 2. Содержание кобальта в рубцовой жидкости, (в сухом веществе), мг/кг

Наши исследования по содержанию кобальта в рубцовой жидкости показали, что наиболее высокий уровень данного элемента наблюдается у животных 2 опытной группы в конце опыта. По сравнению с контролем произошло увеличение в три раза. Содержание кобальта в цельной крови бычков 1 опытной и 2 опытной групп на

начало опыта составила 0,06 и 0,09 мг/кг, а в конце опыта мы отмечаем увеличение в 1 опытной до 1,26 мг/кг и 2 опытной до 1,67 мг/кг.

Концентрация кобальта в желудочно-кишечном тракте существенно влияет на его всасывание, как показал наш опыт. Это подтверждается результатами анализа содержания элемента во внутренних органах и тканях.

Высокое накопление кобальта происходит в щитовидной железе, но основное количество элемента скапливается в печени (таблица 3).

Таблица 3

Содержание кобальта в тканях и органах животных (в сухом веществе), мг/кг

Группа животных	Кожа	Длиннейшая мышца спины	Печень	Щитовидная железа	Поджелудочная железа	Почка
Начало опыта						
Контрольная	0,160±0,006	0,18±0,02	0,41±0,02	0,45±0,02	0,43±0,02	0,26±0,006
1 опытная	0,159±0,0065	0,21±0,4	0,48±0,024	0,48±0,03	0,43±0,02	0,29±0,006
2 опытная	0,160±0,008	0,45±0,09	0,49±0,02	0,50±0,09	0,45±0,04	0,29±0,008
Конец опыта						
Контрольная	0,156±0,008	0,119±0,01***	0,42±0,02***	0,45±0,02	0,43±0,02	0,26±0,006
1 опытная	0,260±0,005	0,35±0,09	0,88±0,24	0,48±0,03	0,43±0,02	0,29±0,006
2 опытная	2,30±0,02	0,84±0,04***	1,08±0,02***	0,50±0,09	0,45±0,04	0,29±0,008

Примечание: Разница по сравнению с контрольной группой достоверна: * при P<0,001; ** при P<0,01; *** при P<0,05.

Биохимические показатели крови занимают особое место и очень важны как для своевременной диагностики патологических состояний, так и для оценки физиологического статуса организма животного.

Известно, что обмен веществ осуществляется при непереносимом участии большого количества различных ферментов, представляющих собой белковые тела (Алексеева и др., 2021)

Результаты наших исследований подтверждаются данными из литературных источников, где говорится, что общий белок сыворотки крови является лабораторным показателем, отражающим состояние гомеостаза.

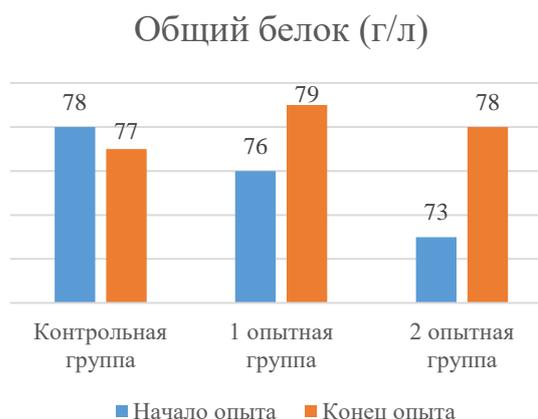


Рис. 3. Показатели белкового обмена (общий белок)



Рис. 4. Показатели белкового обмена (альбумин)

В начале эксперимента мы заметили, что содержание общего белка в сыворотке крови уменьшилось на 1% в контрольной группе, в то время как в первой и второй опытных группах оно увеличилось на 4% и 7% соответственно. Уровень альбумина не изменился в контрольной группе, но увеличился на 31% и 8% в первой и второй опытных группах. Важно отметить, что показатели общего белка и альбумина во всех группах не превышали физиологические нормы на протяжении всего эксперимента.

Нам известно, что гипопроteinемия, как правило, связана с гипоальбуминемией и возникает при недостаточном поступлении белка в организм. Это происходит при голодании, недоедании, нарушении функций желудочно-кишечного тракта. Отсюда следует, что при введении в рацион опытных бычков препарата Silaccess способность печени синтезировать белки не нарушается. А нормализация функций ЖКТ приводит к увеличению общего белка и

альбумина в крови. Таким образом, мы предполагаем, что увеличение количества белка и альбумина в сыворотке крови говорит нам о накоплении белка в мышцах, тем самым увеличивая живую массу бычков опытных групп (Самохин, 2007).

Таблица 4

Изменения среднесуточного прироста живой массы

Группа животных	Среднесуточный прирост грамм/за 1 мес.	Среднесуточный прирост грамм/за 2 мес.
Контрольная группа	0,585	0,672
1 опытная группа	0,690	0,890
2 опытная группа	0,784	0,930

В таблице 4 показаны изменения среднесуточного прироста живой массы. Мы видим, что включение в состав рациона минеральной добавки Silaccess в дозе 200 мг на голову в сутки обеспечивает повышение интенсивности роста опытных бычков. У животных контрольной группы отмечается меньшая скорость роста (отстают в росте). Это связано, главным образом, с недостаточным поступлением в организм животных данной группы микроэлементов и витаминов.

Увеличение массы тела у животных из опытных групп связано с сбалансированным содержанием минеральных элементов кобальта и железа в их рационах, что способствует более эффективному усвоению питательных веществ. Данный препарат ускоряет биохимические процессы, что приводит к повышению активности обмена веществ в организме животных.

Список литературы

- Алексеева Л.В.* Изменения лейкоцитарной формулы у коров при введении в рацион кормовой добавки на основе кремния // *Инновационные технологии в АПК: проблемы и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции.* Тверь, 2021 С. 102-105.
- Арсанукаев Д.Л., Алексеева Л.В., Зайналабдиева Х.* 2017. Регуляция микроэлементного метаболизма животных. Тверь: Тверская ГСХА. 99 с.
- Викторов П.И.* 2003. Методика и организация зоотехнических опытов. М.: Агропромиздат. 112 с.
- Георгиевский В.И.* 1990. Физиология сельскохозяйственных животных. М.: ВО Агропромиздат. 512 с.
- Назарова А.А.* 2009. Влияние нанопорошков железа, кобальта и меди на физиологическое состояние молодняка крупного рогатого скота: дис. ... кан. биол. наук. Рязань. 137 с.

Самохин В.Т. 2007. Профилактика нарушений обмена микроэлементов у животных. Дубовицы: Российский учебный центр по экологически-безопасным технологиям в животноводстве. 136 с.

THE EFFECT OF THE MINERAL SUPPLEMENT "SILACCESS" ON MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF THE BLOOD OF BULLS

L.V. Alekseeva, P.S. Kamynin

Tver State Agricultural Academy, Tver

Here we present an analysis of the effect of ultrafine mineral top dressing Sql access on blood counts. Positive results have been experimentally proven to increase the morphophysiological and biochemical parameters of blood, increase the hematopoietic functions of the body, and increase the intensity of mineral metabolism.

Keywords: *mineral elements; blood; homeostasis; erythrocytes; hemoglobin, protein metabolism, efficiency.*

Об авторах:

АЛЕКСЕЕВА Людмила Владимировна – доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарии, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), д. 7; e-mail: alekseeva_lud@mail.ru.

КАМЫНИН Павел Сергеевич – старший преподаватель кафедры физико-математических дисциплин и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), д. 7; e-mail: pkamynin@tvgsa.ru.

Алексеева Л.В. Влияние минеральной добавки «Silaccess» на морфологические и биохимические показатели крови бычков / Л.В. Алексеева, П.С. Камынин // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 107-114.

Дата поступления рукописи в редакцию: 20.05.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

УДК 636.087.72
DOI: 10.26456/vtbio389

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «SILACCESS» НА ОБЩУЮ МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПИЩЕВАРИТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Л.В. Алексеева, Ф.Г. Деменик

Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь

В статье представлен анализ влияния кормовой добавки Silaccess на показатели продуктивности крупного рогатого скота. Экспериментально доказаны положительные результаты по увеличению общего удоя коров при введении в основной рацион кремнийсодержащего препарата. Исследование *in vitro* с использованием искусственного рубца показало, что Silaccess, при введении его в кормосмеси, влияет на пищеварительные процессы в рубце и улучшает перевариваемость питательных веществ.

Ключевые слова: *кремний, крупный рогатый скот, продуктивность, рубец, пищеварение.*

Введение. Производство высококачественной и экологически чистой продукции, а также повышение экономической эффективности производства являются основными задачами для сельского хозяйства. Специалистами, работающими в сфере животноводства, данные проблемы решаются эффективным использованием ресурсов и разработкой новых технологий в ведении хозяйства.

Важнейшим фактором увеличения объемов производства и повышения качества продуктов животноводства, в том числе молока и мяса, является правильное питание животных и сбалансированный микроэлементный состав кормов. Нормализация процессов обмена веществ и повышение сопротивляемости организма к болезням и неблагоприятным факторам среды напрямую связано со своевременным внесением минеральных добавок в рацион животных (Белая, 2019).

Среди комплекса факторов питания животных важное значение имеют минеральные вещества. Их влияние на организм определяется тем, что макро- и микроэлементы участвуют в построении опорных тканей, поддержании гомеостаза организма, активизации биохимических реакций, воздействии на ферментные и гормональные системы, симбионтную микрофлору желудочно-кишечного тракта. Несбалансированность рационов по минералам сдерживает рост поголовья, снижает продуктивность, плодовитость, вызывает

заболевания и гибель животных, ухудшает качество их продукции.

Установлено, что в зонах с недостаточным или избыточным содержанием микроэлементов в почве у животных проявляются нарушения минерального обмена, падает эффективность использования организмом питательных веществ (Войнар, 1955).

Помимо недостатка общеизвестных биотических микроэлементов, животные могут быть подвержены дефициту малоизученных, но не менее важных для нормального развития организма, элементов. Последние исследования мировой биологии и биохимии свидетельствуют о существенном расширении перечня химических элементов, поступление которых в животный организм нуждается в строгом учёте и контроле полноценности питания по ним (Подобед и др., 2012).

Одни из наиболее полных исследований действия кремниевых добавок (на примере силатранов) были проведены Воронковым М.Г., в частности им было описано положительное влияние силатранов при применении их в кормлении крупного рогатого скота. Согласно литературным данным, применение кремнийсодержащих препаратов в рационах крупного рогатого скота силатраны способствовали повышению продуктивности животных и снижали расход кормов в расчете на единицу прироста за счет лучшей перевариваемости питательных веществ (Воронков, 2005).

В отношении лактирующих коров надо отметить особенности обмена кремния в ходе лактации. В период раздоя баланс кремния в организме постепенно становится отрицательным, поэтому необходимо включать в рацион кремниевые добавки, способствующие поддержанию продуктивности и профилактике развития кетозов и коллагенозов (Вапиров и др., 2017).

Согласно литературным источникам, применение кремнийсодержащих препаратов в рационах способствует повышению биологической ценности кормов, иммунобиологического состояния организма. Такие добавки способны улучшать состояние кожи и волосяного покрова, морфологический состав крови и ее окислительно-восстановительные, дыхательные функции. Бентониты и родственные им кремнеземы, при введении их в корма в оптимальных, физиологически переносимых количествах (1-3%), делают корм более доступным для усвоения под воздействием пищеварительных соков, увеличивая контактную поверхность, при которой усиливаются каталитическая активность пищеварительных ферментов и площадь контакта слизистых желудочно-кишечного тракта с химусом (Пулатов и др., 1983).

В связи с этим, для изучения представляется интересным действие кремнийсодержащих препаратов на организм крупного

рогатого скота: их влияние на экономически важные показатели, такие как общая молочная продуктивность и содержание в молоке жира, а также изменения процессов пищеварения в рубце.

Методика. В качестве источника биодоступного кремния использовался препарат Silaccess, представляющий собой смесь микропорошков микроэлементов, таких как железо, цинк, медь и кремний. Благодаря технологии, применяемой при производстве, кремний в данном препарате остается в элементарном состоянии вплоть до попадания в организм животного. Для проведения исследования влияния кремния на молочную продуктивность из коров черно-пестрой голштинизированной породы были отобраны 54 дойных коровы одинакового возраста среди которых была выделена контрольная и опытная группы. В корм животных опытных групп ежедневно вносилась кремниевая добавка, путем увлажнения корма рабочим раствором (600мг добавки на 200мл воды).

Контрольные дойки (КД) проводились перед началом опыта, а затем дважды в месяц (табл. 1).

Таблица 1

Схема эксперимента

Дата проведения	5 апреля	20 апреля	1 мая	19 мая	4 июня
№ контрольной дойки и взятия проб	1	2	3	4	5

Для определения влияния препарата на количество удоев и качество молока, данные, полученные при проведении контрольных доек 2, 3, 4, сравнивались с контрольной дойкой 1, проведенной перед началом внесения в рацион опытных групп кремнийсодержащей добавки.

Так как продуктивность крупного рогатого скота напрямую зависит от пищеварительных процессов в первом отделе желудка – рубце, интересным представляется изучение процессов пищеварения в нем под влиянием кремния. Для этого в 2023 году был заложен научный эксперимент по изучению действия минеральной добавки «Silaccess» на перевариваемость питательных веществ рациона.

Для изучения данных показателей применялся модернизированный искусственный рубец, позволяющий одновременно проводить 2 процесса ферментации независимо друг от друга. В ходе исследования изучались изменения таких показателей как рН рубцовой жидкости, общее количество инфузорий в рубцовой жидкости (тыс.кл./мл), а также коэффициенты перевариваемости следующих питательных веществ:

- сухое вещество;
- органическое вещество;

- сырой протеин;
- сырая клетчатка;
- сырой жир;
- безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ).

В ходе исследования было заложено 5 процессов ферментации по 5 проб для каждой группы (контроль и опыт). Перед закладкой в искусственный рубец проводился комплексный анализ исследуемой кормосмеси (рис. 1). Период инкубации каждой закладки составлял 48 часов.

Показатели	Образец N 197 Кормосмесь контроль		Образец N 198 Кормосмесь опыт	
	натур.вл.	абс.-сухое	натур.вл.	абс.-сухое
Общая влага, %	39,75		39,81	
Сухое вещество, %	60,25		60,19	
Сырой протеин, %	9,15	15,18	9,53	15,84
Сырая клетчатка, %	10,36	17,20	9,98	16,58
НДК, %	17,34	28,77	19,58	32,54
КДК, %	13,70	22,73	14,48	24,05
Сырой жир, %	2,58	4,28	2,53	4,20
Б Э В, %, в т.ч.:	33,55	55,69	33,65	55,91
сахар, %	3,40	5,64	3,40	5,64
крахмал, %	6,39	10,61	6,67	11,08
ЭКЕ	0,65	1,08	0,65	1,08
ОЭ для КРС, МДж	6,48	10,76	6,49	10,79
Кормовые единицы, кг	0,57	0,94	0,57	0,94
Перевар. протеин, г/кг	62,89		66,32	
РП, г/кг	64,16	106,48	68,44	113,70
НРП, г/кг	27,34	45,38	26,86	44,62
БТК, г/кг	52,49	87,12	52,54	87,29
ББР, г/кг	0,43	0,72	4,19	6,97
Кальций, г/кг	4,84	8,03	4,50	7,48
Фосфор, г/кг	2,40	3,98	2,37	3,94
Цинк, мг/кг	150,21	249,30	103,95	172,71
Медь, мг/кг	7,89	13,09	8,39	13,93
Марганец, мг/кг	55,38	91,91	56,07	93,15
Железо, мг/кг	77,89	129,27	97,40	161,81
ЧЭЛ, МДж	3,91	6,48	3,91	6,50
Магний, г/кг	1,45	2,41	1,53	2,54
Сера, %	0,098	0,163	0,094	0,157
Калий, %	1,03	1,70	0,96	1,59
<u>Зола, %</u>	4,61	7,65	4,50	7,47

Рис. 1. Анализ кормосмесей

Результаты и обсуждение. На основании данных о общей продуктивности животных и жирности получаемого молока, полученных во время проведения контрольных доек, был произведен подсчет количества зачетного молока в пересчете на базисную жирность 3,4%, результаты изложены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты исследования продуктивности

группа	показатель	КД № 1	КД № 2	КД № 3	КД № 4	КД № 5
Опытная	количество молока, л	985,96	963,8	1039,04	1047,56	1027,6
	изменение, %		-2,30%	5,11%	5,88%	4,05%
Контроль	количество молока, л	952,9	966,7	970,25	954,6	984
	изменение, %		1,43%	1,79%	0,18%	3,16%

Количество молока, приведенного к базисной жирности, в опытной группе во время проведения второй контрольной дойки снизилось на 2,30%, однако при проведении последующих наблюдалось повышение приведенного удоя. Так, по результатам контрольных доек № 3 и 4 животные опытной группы давали на 53,08л (или 5,11%) и 61,6 (5,88%) молока больше, чем перед введением в рацион препарата Silaccess. Результаты заключительных измерений удоя опытной группы показали общий приведенный удой группы в 1027,6л молока, что на 4,05% больше нежели изначальные показатели.

В контрольной группе коров, по показателю общей продуктивности коров, также наблюдалась положительная динамика, 20 апреля (КД №2) прирост составлял 1,43%, а 1 мая – 1,79%. При проведении четвертой контрольной дойки показатели продуктивности приблизились по значениям к первоначальным данным, прирост составлял 1,7л или 0,18%. К концу опыта, 4 июня, показатель приведенного удоя вновь увеличился на 4,05% относительно показателям первой контрольной дойки.

По результатам исследования можно сказать, что в среднем удой опытной группы за весь период исследования увеличился на 3,19%, таким образом группа из 28 коров давала, в среднем, на 33,5л товарного молока больше. Динамика показателя приведенного удоя у контрольной группы также была положительной, однако рост составил только 15,9л или 1,64%.

В ходе исследования влияния кремнийсодержащего препарата

на процессы пищеварения в рубце *in vitro* было выявлено, что кремний смог повлиять на пищеварительные процессы в рубце. В большей степени добавление препарата «Silaccess» в кормосмесь повлияло на перевариваемость сырого протеина (1,01%) и сырой клетчатки (1,07%). Также кремний повлиял на ферментацию сырого жира и безазотистых экстрактивных веществ, в сравнении с коэффициентами перевариваемости кормов без добавления данного препарата, опытные кормосмеси имели на 0,84% лучшую перевариваемость жира и на 0,71% – безазотистых экстрактивных веществ.

Согласно таблице (табл. 3), в четырех из пяти повторностей наблюдалось улучшение коэффициента перевариваемости от 0,55 до 2,4%, и лишь в одном случае наблюдалось снижение данного показателя на 0,66%. В среднем, добавление кремниевого препарата «Silaccess» в кормосмеси, позволило улучшить коэффициент перевариваемости на 0,94%.

Таблица 3
Коэффициенты перевариваемости питательных веществ *in vitro* под влиянием кремниевого препарата, %

№ группы № повторности	сухое вещество		органическое вещество		сырой протеин		сырая клетчатка		сырой жир		БЭВ		Общее изменение, %
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	59,2	60,6	64,1	65,6	59,3	60,8	51,3	52,6	61,4	62,8	65,2	66,6	2,40
2	58,1	58,9	63,1	64,0	58,2	59,1	50,9	51,8	60,3	61,0	64,1	64,8	1,36
3	60,4	60,7	65,3	65,8	60,5	60,8	52,4	52,7	62,5	62,8	66,5	66,8	0,55
4	60,3	61,2	65,3	66,3	60,5	61,3	52,4	53,1	62,5	63,1	67,0	67,3	1,18
5	62,5	62,1	67,5	67,2	62,6	62,3	54,7	54,2	64,8	64,3	68,6	68,3	-0,66
среднее значение	60,1	60,7	65,1	65,8	60,2	60,8	52,3	52,9	62,3	62,8	66,3	66,7	0,94
изменение, %	1,01		1,07		1,01		1,07		0,83		0,71		

Заключение. По результатам исследования можно сказать, что кремнийсодержащий препарат Silaccess позволил повысить удой молока, приведенного по жирности 3,4% в среднем на 3,19%. Таким образом группа из 28 коров в ходе эксперимента в среднем давала на 33,5л товарного молока больше. Динамика показателя приведенного удоя у контрольной группы также была положительной, однако рост составил только 15,9 литров или 1,64%.

По результатам исследования в искусственном рубце *in vitro* можно сказать, что кремний, при введении его в кормосмеси, влияет на пищеварительные процессы в рубце и улучшает перевариваемость питательных веществ в среднем на 0,94%, наиболее значимый результат препарат «Silaccess» оказал на перевариваемость сырой клетчатки.

Список литературы

- Белая А.* 2019. Ни крошки мимо привеса. Как достичь оптимальной конверсии корма // *Агроинвестор*. №5 [Электрон. журнал]. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/agroinvestor/9936/>
- Вапиров В.В., Феоктистов В.М., Венскович А.А., Вапирова Н.В.* 2017. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли // *Ученые записки петрозаводского государственного университета*. № 2 (163). С. 95-102.
- Войнар А.О.* 1955. Значение микроэлементов в организме человека и животных. М.: Знание. 23 с.
- Воронков М.Г.* 2005. Силатраны в медицине и сельском хозяйстве. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. Наук. 255с.
- Подобед Л.И., Мальцев А.Б., Полубояров Д.В.* 2012. Методические рекомендации по применению кремнийорганических препаратов (хелатов кремния) в кормлении сельскохозяйственной птицы. 50 с.
- Пулатов Г.С., Игнатьев А.Д., Нелюбин В.П.* 1983. Биологические свойства цеолитов // *Тр. Узб.Н.И. вет. ин-та*. Вып. 1. С. 30-33.

THE EFFECT OF THE FEED ADDITIVE «SILACCESS» ON THE OVERALL DAIRY PRODUCTIVITY AND DIGESTIVE ACTIVITY OF CATTLE

L.V. Alekseeva, Ph.G. Demenik
Tver State Agricultural Academy, Tver

Here we present an analysis of the effect of Silaccess feed additive on the productivity of cattle. Positive results have been experimentally proven to increase the total milk yield of cows when a silicon-containing drug is introduced into the main diet. An in vitro study using artificial scar has shown that Silaccess, when introduced into feed mixtures, affects the digestive processes in the rumen and improves the digestibility of nutrients.

Keywords: *silicon, cattle, productivity, rumen, digestion.*

Об авторах:

АЛЕКСЕЕВА Людмила Владимировна – доктор биологических наук, профессор кафедры биологии животных, зоотехники и основ ветеринарии, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), д. 7, e-mail: alekseeva_Lud@mail.ru

ДЕМЕНИК Филипп Григорьевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), д. 7, e-mail: fidemenik@gmail.com

Алексеева Л.В. Влияние кормовой добавки «Silaccess» на общую молочную продуктивность и пищеварительную активность крупного рогатого скота / Л.В. Алексеева, Ф.Г. Деменик // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 115-122.

Дата поступления рукописи в редакцию: 20.05.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ГИСПРИЛОЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА ТВГУ

Л.В. Зуева, Д.А. Мидоренко

Тверской государственной университет, Тверь

В статье рассмотрен опыт разработки и внедрения в образовательный процесс студентов-биологов современных цифровых технологий. Описаны особенности использования мобильных решений для организации и проведения практических и лабораторных занятий, а также полевых учебных практик бакалавров естественно-научных направлений Тверского государственного университета.

***Ключевые слова:** биология, ботаника, географические информационные системы, ГИС, цифровое обучение, электронная образовательная среда, дистанционное обучение, летняя практика, мобильное приложение.*

Введение. Развитие цифрового образования в настоящее время является одним из приоритетных направлений в образовании и одним из целевых показателей Тверского государственного университета и биологического факультета. В условиях современного развития общества оптимальным является комплексное использование классических и цифровых технологий. Одними из популярных, актуальных и доступных платформ являются мобильные ГИС приложения (Жеренков и др., 2020, Мидоренко и др., 2017, Мидоренко и др., 2020).

Мобильные ГИС приложения позволяют распознавать виды деревьев по фотографиям листьев, плодов, семян и коры, фиксировать на карте место обнаружения растений, систематизировать и обобщать полученные данные и т.д. (Зиновьев и др., 2019).

Актуально использование подобных приложений в образовательном процессе биологического факультета Тверского государственного университета при проведении полевых практик, занятий в аудиторном формате по дисциплинам учебных планов, реализуемых направлений ООП, написании курсовых и выпускных квалификационных работ.

© Зуева Л.В., Мидоренко Д.А.,
2024

Подбор методов будет зависеть от целей и задач обучения. Такой подход в обучении расширяет возможности преподавателя и студента в условиях цифровизации общества.

В статье представлен авторский опыт применения мобильных ГИС-решений для организации полевых учебных практик бакалавров как одного из этапов цифровой трансформации биологического и географического образования.

Материалы и методика. На базе программного комплекса *Survey123 for ArcGIS* было разработано мобильное приложение для сбора данных о видовом составе и состоянии древесных пород населённых пунктов – «Деревья нашего двора» (рис. 1).

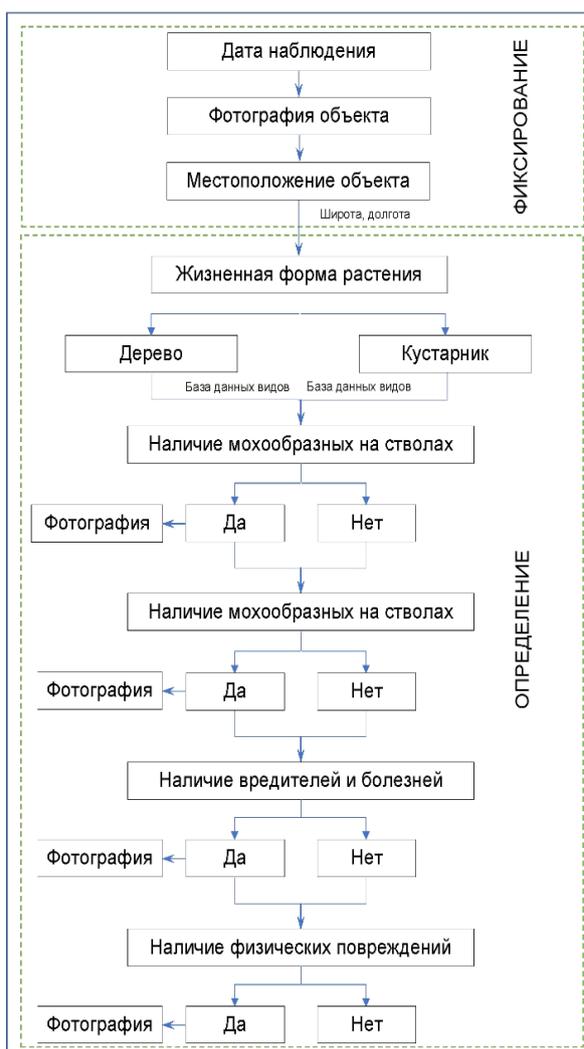


Рис.1. Алгоритм работы мобильного ГИС-приложения «Деревья нашего двора»

Приложение может применяться для геоботанического анализа, мониторинга и оценки общего состояния площадных лесонасаждений (парков, скверов, детских площадок) и объектов линейной протяжённости (зелёных насаждений вдоль улиц, проспектов, набережных) селитебной территории. Приложение обеспечивает сбор и фиксацию следующих данных (рис.2):

- Дата и место проведённого исследования (с указанием координат широты и долготы);
- Погодные условия в момент исследования;
- Жизненная форма (дерево, кустарник);
- Природные виды и культурные виды (интродуценты);
- Наличие мохообразных и лишайников на стволах;
- Наличие болезней, вредителей и физических повреждений;
- Фенологическая стадия.

Результаты и обсуждение. Мобильные ГИС-приложения – это геоинформационные приложения для мобильных устройств (смартфонов или планшетов), предназначенные для сбора и первичной обработки геопространственной информации, а также навигации и ориентирования на местности.

Мобильное ГИС-приложение «Деревья нашего двора» было использовано при проведении летних полевых практик с 2021 по 2024 года со студентами 2 курса бакалавриата направлений 35.03.01 «Лесное дело» и 35.03.05 «Садоводство».

В общей сложности студентами было определено и исследовали более 4900 древесных растений – природных и интродуцированных деревьев и кустарников – в Тверской, Московской, Новгородской, Нижегородской областях и в г. Санкт-Петербурге. Сбор данных осуществлялся на урбанизированных территориях (городах, поселках и других населенных пунктах).

В 2021 году данное приложение было актуально при проведении полевой практики в период пандемии коронавируса для вовлечения студентов в интерактивный сбор полевых данных и обработку информации. Использование такой формы работы позволило существенно повысить эффективность и качество проводимых занятий.

По окончании пандемии приложение стало использоваться в рамках развития электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) университета, расширяющей возможности преподавателя и студентов при проведении занятий, учебных и производственных практик, написании курсовых и выпускных квалификационных работ,

для проведения научно-исследовательской работы бакалавров и магистров.

Кроме того, такой подход позволяет студентам, отсутствующим по уважительной причине на занятиях, выполнять задания удаленно и не иметь академической задолженности.

По результатам полевой работы для визуализации и анализа полученных данных средствами визуального *web*-конструктора ArcGIS Dashboards была сформирована операционная панель «Деревья моего двора» (рис. 2).

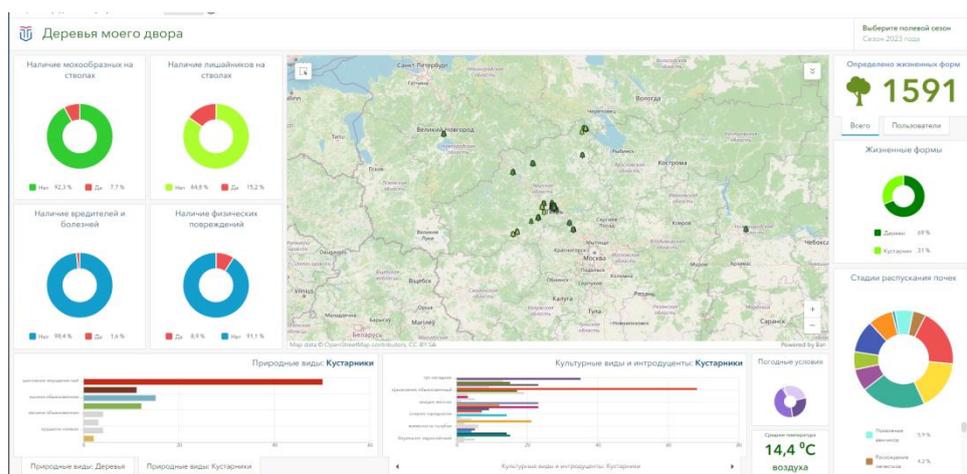


Рис. 2. Общий вид операционной панели «Деревья нашего двора»

Оперативная панель даёт возможность получить аналитическую информацию по природным и интродуцированным видам деревьев и кустарников, о количестве древесных пород с лишайниками и мхами на стволах, наличии или отсутствии болезней и вредителей и наличии или отсутствии физических повреждений (рис. 3).

Кроме того, есть возможность сопоставления погодных условий и фенологического состояния древесной породы.

В целом, в результате анализа полученных данных среди интродуцированных деревьев в районах исследования преобладает клён ясенелистный, среди интродуцированных кустарников – туя западная, рябинник рябинолистный.

Среди природных видов на урбанизированных территориях чаще всего встречаются береза бородавчатая, рябина красная, шиповник морщинистый, калина обыкновенная. На территории населенных пунктов эти растения могут быть как результатом искусственных посадок, так и результатом естественного возобновления на нарушенных территориях (Колосова, 2007, Зуева, 2020).



Рис. 3. Определение жизненного состояния и видового состава древесных пород

На основе многолетнего использования приложения в образовательном процессе биологического факультета была создана и зарегистрирована база данных «База данных видового состава и состояния древесных пород, урбанизированных Тверской области».

База данных может быть использована для знакомства студентов бакалавриата и магистратуры биологических направлений с современными технологиями полевых исследований, оперативного сбора и обработки геоботанических данных, с целью закрепление на практике теоретических знаний, полученных в рамках изучения дисциплин «Флора и география Тверской области», «Систематика растений», «Дендрология», «Лесоведение», «Анатомия и морфология растений», и др.

База данных также будет полезна также для проведения научных исследований в рамках подготовки ВКР бакалавров, а также в рамках научных исследований, проводимых ППС биологического факультета.

Заключение. Таким образом, использование мобильных приложений формирует устойчивые связи аудиторных знаний с

практическими умениями и навыками, получаемыми в окружающей среде в процессе полевых исследований, а современные ГИС-технологии становятся актуальной формой обучения в комплексе с классическими технологиями и приемами.

В перспективе планируется техническая интеграция геоинформационного мобильного ГИС-приложения с мобильными системами идентификации растений с поддержкой искусственного интеллекта, такими как *Flora Incognita*. Это позволит повысить точность определения видов, формировать параллельные базы данных для верификации натурных исследований и улучшить результаты аналитической научной работы.

Список литературы

- Жеренков А.Г., Мидоренко Д.А.* 2020. Мобильное ГИС-приложение для морфологического описания почв // Вестник ТвГУ Серия: Биология и экология. № 1(57). С. 217-222.
- Зиновьев А.В., Мидоренко Д.А.* 2019. Мобильный регистратор видов позвоночных животных Тверской области // Вестник ТвГУ Серия: Биология и экология. № 2(54). С. 12-17.
- Зуева Л.В.* 2020. Флора и география Тверской области Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622286 Российская Федерация.: № 2020622096 : заявл. 03.11.2020 : опубл. 16.11.2020; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет».
- Колосова Л.В.* 2007. Флора Валдайской возвышенности: специальность 03.00.05: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М. 291 с.
- Мидоренко Д.А., Жеренков А.Г.* 2020. Мобильное ГИС-технологии в географическом и биологическом образовании // Вестник ТвГУ Серия: География и геоэкология. № 2(30). С. 71-78.
- Мидоренко Д.А., Кошелев Д.В., Зиновьев А.В.* 2017. Опыт создания картографического Web-приложения для решения орнитологических задач // Вестник ТвГУ Серия: Биология и экология. № 3(54). С. 54-58.
- Мидоренко Д.А.* 2024. Мобильное ГИС-приложение для описания видового состава и состояния древесных пород / Геоинформационное картографирование в регионах России. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж. С. 147-150.

CREATING AND USING THE MOBILE GIS APPLICATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE FACULTY OF BIOLOGY AT TVER STATE UNIVERSITY

L.V. Zueva, D.A. Midorenko
Tver State University, Tver

Here we report the developing and introducing modern digital technologies into the educational process of biology students. The features of using mobile solutions for organizing and conducting practical and laboratory classes, as well as field training practices for bachelors of natural sciences at Tver State University are described.

Keywords: *biology, botany, geographic information systems, GIS, distance learning, summer practice, mobile application.*

Об авторах:

ЗУЕВА Людмила Викторовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФБГОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Zueva.LV@tversu.ru.

МИДОРЕНКО Дмитрий Адольфович – старший преподаватель кафедры туризма и природопользования, ФБГОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Midorenko.DA@tversu.ru.

Зуева Л.В. Создание и использование мобильного ГИС-приложения в образовательном процессе биологического факультета ТвГУ / Л.В. Зуева, Д.А. Мидоренко // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 123-129.

Дата поступления рукописи в редакцию: 02.09.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

УДК 581.9: 581.527.7 + 001.2+371

DOI: 10.26456/vtbio391

ПОЛЕМОХОРЫ КАК ТРИГГЕРНЫЙ ОБЪЕКТ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

А.А. Нотов¹, А.Ф. Мейсунова¹, С.А. Иванова¹, В.А. Нотов^{2,1}

¹Тверской государственной университет, Тверь

²МБОУ СОШ № 3, пос. Редкино

Изучение полемохоров представляет интерес для развития и интеграции разных научных дисциплин. Полемохоры могут стать объектами комплексных исследований по биологии, экологии, истории. Анализ полемохорных заносов в рамках образовательной деятельности способствует повышению ее научного уровня и патриотическому воспитанию.

Ключевые слова: *полемохоры, Великая Отечественная война, биологические инвазии, наука, биология, экология, история, образование, патриотическое воспитание.*

Введение. Прогресс науки является основой устойчивого развития цивилизации (Арсанукаев, 2008; Розенберг и др., 2024). Все более очевидной становится особая роль биологии и экологии в реализации научного потенциала XXI века, синтезе знаний разных областей (Ярилин, 2008; Розенберг, Гелашвили, 2013). Становление новых комплексных направлений осуществляется в условиях сложной кризисной ситуации, которая препятствует интеграции и координации, осложняется военными конфликтами (Гохберг, 2024; Стронгин, 2024; Розенберг и др., 2024). Крайне актуально сейчас выявление «точек роста», создающих основу для перспективных направлений развития науки (Федюкин, 2009; Водопьянова, 2018; Гусаков, 2021), их поддержка государственными стратегическими проектами (Ковалев, Лосев, 2023).

Особо значима тематика, интегрирующая разделы биологии и экологии с гуманитарными, социальными дисциплинами, сопряженная с экологической историей, духовно-нравственной сферой человека, биополитикой (Oleskin, 2012; Нагорная, Голубинов, 2021; Марков, Бочарников, 2022; Стародубцев, Лупанова, 2023). В настоящее время возрастает актуальность оценки экологических последствий войн (Зав'ялова и др., 2022; Загороднюк, 2023, 2024а, б). При анализе полемохорных заносов были выявлены новые для науки проблемы и феномены (Нотов и др., 2018, 2019, 2022б, 2023б; Нотов А., Нотов В., 2019; Решетникова и др., 2021). Сейчас изучение полемохоров начали уже проводить в рамках исследовательских работ школьников и студентов (Нотов В. и др., 2019, 2024). Феномен полемохорных инвазий в перспективе может стать модельным объектом, который будет способствовать развитию разных научных направлений и разработке принципиально новых проблем (Решетникова и др., 2021; Vinogradova et al., 2021; Нотов и др., 2022б, 2023а, б). В этой связи актуально выяснение

возможных подходов к анализу полемохорного компонента биоты, их связи с другими научными дисциплинами.

Цель данной статьи – обратить внимание на эвристическую ценность и необходимость комплексного изучения полемохоров для междисциплинарной интеграции знаний, его значительный потенциал в образовании и патриотическом воспитании.

Методика. Мы изучили значительный объем разноплановых материалов, связанных с экологическими последствиями войн, путями трансформации биогеоценозов и заноса чужеродных видов. При анализе литературы по истории развития интереса к инвазиям полемохоров, мы особое внимание обращали на этапы формирования целостного представления об этом феномене и основных понятий (Mannerkorpi, 1944; Назаров, 1927; Сенников, 2012; Кузьмин, 2015; Решетникова, 2015; Решетникова и др., 2021; Загороднюк, 2023, 2024б; Нотов и др., 2023б; Щербаков, 2024). В этой связи очень важны работы о разных группах животных (Кольцов, 1916; Котов, 1924; Salter et al., 2014; Беньковская, 2017; Орлова-Беньковская, 2017; Загороднюк, 2023, 2024б). Интересны сведения о лишайниках, растущих на военных захоронениях и заброшенных аэродромах Второй мировой войны (Gilbert, 2000; Wearn, Hudson, 2014). Заслуживает внимание анализ растительности и флоры Восточной Фенноскандии в местах активного заноса адвентов в военное время (Alm, Piirainen, 1997; Кравченко, 2019).

Сделан обзор работ, связанных с методическими аспектами исследования полемохоров и фитоценозов с их участием. Рассмотрены подходы к изучению динамики натурализации и оценке ценотических позиций полемохоров (Решетникова и др., 2021; Нотов и др., 2022б, 2023б). Учтены результаты сопряженного анализа фитоценотических особенностей среднеевропейских видов растений в первичном и вторичном ареале (Нотов и др., 2020, 2022а, б и др.), сведения о встречаемости диагностических видов среднеевропейских сообществ в фитоценозах ключевых модельных территорий Тверской области (Нотов А., Нотов В., 2019; Нотов и др., 2020, 2022б, 2023б и др.). Проанализированы результаты, полученные с использованием метода биоклиматического моделирования распространения потенциальных полемохоров (Korolkova, Vasilkov, 2019; Королькова, Васильков, 2020).

Изучены публикации о встречаемости полемохоров на особо охраняемых природных территориях и проблеме включения этих видов в региональные Красные книги (Alm, Piirainen, 1997; Решетникова, 2015, 2020; Кравченко, 2019; Решетникова и др., 2021; Титовец, Решетникова, 2022; Кошевой, 2023; Ягодковская, Решетникова, 2023).

Описание сообществ с полемохорами на ключевых объектах Тверской области позволило обосновать важность учета сукцессионной динамики растительного покрова и ландшафтной структуры. Большое внимание было уделено литературе о беллигеративных ландшафтах и подходах к их анализу (Герасимов, Гохман, 1988; Чичагов, 2007, 2014;

Голеусов, 2012; Калов, Вагапова, 2013; Woodward, 2014; Кин, Струков, 2021; Бигильдина и др., 2021; Воробйов, Шило, 2023; Nagornaia, von Lingen, 2023).

Обобщен опыт изучения полемохоров в Тверской области в рамках исследовательской деятельности учащихся школ и студентов вузов. Проанализированы итоги такой работы в МБОУ СОШ № 3 пос. Редкино и ТвГУ (Нотов В. и др., 2019, 2024; Нотов и др., 2022в, 2023а).

Детальный анализ эвристической ценности различных аспектов полемохорных заносов и перспектив их комплексного исследования целесообразен в работе монографического характера. В данной статье мы обратим внимание только на наиболее оригинальные феномены, отражающие специфику этих инвазий и некоторые направления исследований, которые важны для достижения качественно нового уровня в развитии современной биологии и экологии. Отметим также значимость дальнейшего изучения полемохоров для образования, просвещения и патриотического воспитания.

Результаты и обсуждение. От момента осознания роли войн в заносе чужеродных видов до целостного представления о специфике полемохорных инвазий пройден длительный путь (Сенников, 2012; Кузьмин, 2015; Решетникова и др., 2021). Системное понимание истории познания, феноменов полемохории, возможных перспектив изучения формировалось на современном этапе развития инвазионной биологии (Хорун, 2014; Нотов А., Нотов В., 2019; Tokhtar et al., 2021; Vinogradova et al., 2021; Виноградова, 2022; Нотов и др., 2022б, 2023б).

История развития интереса к полемохорам

Полагают, что впервые на занос чужеродных растений во время войны специальное внимание обратили после осады Парижа в 1870–1871 гг. во время франко-прусской войны (Решетникова и др., 2021). В это время в окрестностях Парижа выявлено более 200 видов растений, преимущественно средиземноморских по происхождению (Gaufrey, Mouillefarine, 1871, 1872). Однако можно констатировать появление ряда вполне определенных видов растений во время Наполеоновских войн и Крымской войны 1853–1856 гг. (Кузьмин, 2015). В целом работ второй половины XIX–начала XX вв. с упоминанием полемохоров много (Godron, 1853; Gras, 1861; Watson, 1870; Gaufrey Mouillefarine, 1871, 1872; Bureau, 1874; Kreuzpointner, 1876; Маевский, 1878; Кольцов, 1916; Kupffer, 1922; Котов, 1924; Назаров, 1925, 1927). Их обзор и важные ссылки даны в некоторых публикациях (Luther, 1948; Кузьмин, 2015; Решетникова и др., 2021; Калиниченко, 2022 и др.). Много статей появилось после Первой мировой войны (Кольцов, 1916; Котов, 1924; Назаров, 1925, 1927). Уже на этом этапе были интересны не только растения, но и животные (Кольцов, 1916; Котов, 1924).

Однако наибольшее число публикаций связано с чужеродными видами периода Второй мировой войны (см. Сенников, 2012; Кузьмин, 2015; Решетникова и др., 2021). В это время уже стали использовать и термин «полемохор» (Mannerkorpi, 1944). В становлении инвазионной

биологии полемохоров особую роль сыграли скандинавские ботаники (Niemi, 1969; Ahti, Hämet-Ahti, 1971; Retkeilykasvio..., 1998; Piirainen, Alm, 2001; Lid J., Lid D., 2005; Alm et al., 2009; Piirainen, Chkalov, 2018 и др.). Благодаря их исследованиям получены ценные материалы о полемохорах, занесенных в Карелию и Мурманскую область (см. Ahti, Hämet-Ahti, 1971; Костоломов, 1984; Кравченко, 1997, 2019; Сенников, 2012 и др.). Этот период важен для понимания многообразия путей заноса чужеродных видов, который осуществлялся и немецкими, и советскими войсками с разных территорий, включая не только районы Центральной Европы, а также центр и восток Европейской России. Позднее выявлен случай заноса из Северной Америки с грузами по ленд-лизу на линии снабжения советских войск (Решетникова и др., 2021).

Специальный интерес к полемохорам у российских ботаников появился после публикации А.Н. Сенникова (2012). В 2018–2021 гг. проведены масштабные исследования в разных областях Центральной России. Был выявлен характер современного распространения этого компонента биоты, факторы, определяющие его специфику, выяснены источники и способы заноса. Изучены особенности функционирования сообществ с полемохорами, динамика натурализации и ценоотические позиции видов. Основные результаты отражены в обзорной статье (Решетникова и др., 2021) и последующих публикациях (Нотов и др., 2022а, б, в, 2023б). В настоящее время продолжаются комплексные исследования на ключевых модельных территориях Ржевской битвы и в других областях Центральной России (Титовец, Решетникова, 2022; Панасенко, 2022; Решетникова, 2023; Решетникова, Ягодковская, 2023; Ягодковская, Решетникова, 2023; Щербаков, 2024).

Интерес к полемохорам сохраняется в рамках флористических исследований в Карелии и Мурманской области (Кравченко, 2007, 2019; Kozhin et al., 2019; Кожин и др., 2020; Kozhin, Sennikov, 2022). В качестве актуальной задачи рассматривается изучение последствий полемохории в Республике Беларусь (Дубовик, Савчук, 2024).

Совершенно особую актуальность приобретает полемохорная тематика на территории Украины. Она разрабатывается в контексте анализа беллигеративных ландшафтов и фауны трансформированных военными действиями районов (Семеряга, 2014; Зав'ялова и др., 2022; Воробйов, Шило, 2023; Загороднюк, 2023, 2024а, б).

Наряду с инвазионной биологией полемохоров формируется направление исследований, получившее название «полемоботаника» (Wearn, 2016). Его соотносят с весьма широким спектром объектов, процессов, явлений, связанных с войнами.

Феномены полемохории

Длительная крупномасштабная полемохорная инвазия может быть сопряжена с оригинальными явлениями и процессами, у которых нет ещё определённых названий, соотнесённых со специальными терминами (Глоссарий..., 2012; Баранова и др., 2018; Glossary..., 2024

и др.). Их детальное изучение связано с новыми для инвазионной биологии задачами (Нотов и др., 2022а, б, 2023а, б). Анализ экосистем в районе стратегических перевалочных пунктов Ржевско-Вяземского плацдарма позволил предположить возможность проявления в местах массового заноса семян из Центральной Европы следующих феноменов:

- 1) формирование полемохорных внутривидовых фракций и популяций видов, встречающихся в оккупированном регионе;
- 2) «депортация» сообществ (фитоценозов) (Нотов и др., 2023а, б);
- 3) многомерная биогеографическая гетерогенность бelligеративных ландшафтов (полемохорная гетерогенизация биосистем).

Отмеченные феномены обусловлены колоссальными объемами многократно попадавших диаспор, заносом при масштабной заготовке сена семян всех компонентов средневропейских сообществ, включая виды с центральноевропейским типом ареала и с широким долготным распространением (Нотов А., Нотов В., 2019; Нотов и др., 2023б).

1. «Неявная» полемохорность. Выявлять случаи формирования части особей и всей популяции из полемохорно занесенных диаспор у видов, представленных в региональной флоре, даже при использовании всех современных методов генетики популяций крайне сложно. В этой связи феномен можно ассоциировать с «неявной» полемохорностью. Его реализация возможна для видов с разным флорогенетическим статусом. В их числе крайне редкие и обычные во флоре региона аборигенные растения, различные по частоте встречаемости, времени и способу иммиграции адвентивные виды (Нотов и др., 2022а, б, 2023б). Актуальны детальные популяционно-генетические исследования на ключевых территориях Ржевско-Вяземского плацдарма. Некоторые примеры проявления данного феномена удалось обнаружить в ходе анализа данных биогеографии, экологии и фитоценологии. В Тверской области на стратегических перевалочных пунктах с полемохорными заносами, вероятно, связано формирование некоторых популяций *Allium angulosum* L., *Carex disticha* Huds., *C. hartmaniorum* Cajander, *Salvia pratensis* L., *Sanguisorba officinalis* L. (Нотов А., Нотов В., 2019; Нотов и др., 2022а, б, 2023б). Интересно также дальнейшее изучение популяций *Juncus conglomeratus* L. (Нотов и др., 2023б).

2. «Депортация» сообществ. Сложные многокомпонентные фитоценозы с полемохорами выявлены на модельных территориях Погорело-Городищенской операции (рис. 1). Несмотря на активную сукцессионную динамику растительности в окрестностях крупных перевалочных пунктов сообщества, сходные со средневропейскими ассоциациями, сохраняются уже более 80 лет (Нотов А., Нотов В., 2019; Решетникова и др., 2021; Нотов и др., 2022б, 2023б).

В луговых фитоценозах МТ-1 и МТ-2 полно представлены диагностические виды класса *Molinio-Arrhenatheretea* Tx. 1937 и некоторых соподчиненных синтаксонов. Среди них, прежде всего, порядок *Arrhenatheretalia elatioris*. Tüxen 1931, союзы *Arrhenatheretalia*

elatoris Luquet 1926 и *Trisetum flavescens*-*Polygonum bistortae* Br.-Bl. et Tx. ex Marschall 1947. В общей сложности на этих двух территориях отмечено 148 диагностических видов указанных синтаксонов (Нотов и др., 2023б). Из них 81 вид – для класса *Molinio-Arrhenatheretea*, 51 – для порядка *Arrhenatheretalia elatoris*, 55 – для союза *Arrhenatherion elatoris* и 35 – для союза *Trisetum flavescens*-*Polygonum bistortae*. Сопоставимые данные получены и по ключевым военным объектам Ржевского района (Нотов и др., 2020). Подобные итоги «ценотической инвазии» многократно отчужденных и «депортированных» в виде суммарной продукции со всеми диаспорами средневропейских ассоциаций в «аборигенные» можно считать аналогами натурализации.

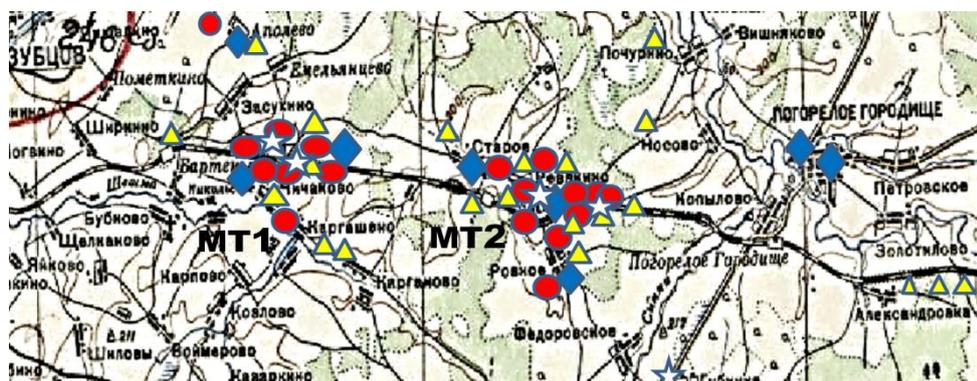


Рис. 1. Местонахождения ценотически значимых полемохоров в районе Погорело-Городищенской операции (на карте 1941–1945 гг.):
MT-1 – окрестности дер. Каргашино; MT-2 – около дер. Ревякино;
ромб – *Heracleum sphondylium* L.; круг – *Pimpinella major* (L.) Huds.;
звезда – *Primula elatior* Hill; треугольник – *Ptarmica vulgaris* Blakw. ex DC.

3. *Многомерная биогеографическая гетерогенность.* Эта форма гетерогенности наиболее полно проявляется при реализации первых двух феноменов. Многомерность выражается в том, что во все типы биологических систем надорганизменного уровня могут включаться полемохорные компоненты. Благодаря воздействию полемохории на разнообразие биосистем популяционно-видового ранга и биоценозов осуществляется полемохорная трансформация растительности, флоры. Существенно возрастает гетерогенность биоты в связи с образованием чужеродных популяций и внутривидовых фракций видов, представленных во флоре региона. Кроме аборигенных и адвентивных популяций и видов во флоре появляются ещё полемохорные, а также элементы смешанного генезиса – аборигенно-полемохорные (Нотов и др., 2023б). Уникальные варианты устойчивых фитоценозов, сходных со средневропейскими сообществами, позволяют и в биоценотическом покрове выявлять «полемохорные» и «аборигенно-полемохорные» ассоциации. Обосновать полемохорность любого объекта часто бывает очень сложно, и она крайне неоднозначно соотносится с чужеродным и аборигенным статусом видов и популяций (Нотов и др., 2018, 2023б;

Куропаткин и др., 2019; Решетникова и др., 2021). Биогеографическая гетерогенность беллигеративных ландшафтов может увеличиваться в ходе сукцессионной динамики растительного покрова и дальнейшей антропогенной трансформации флоры. Детальное изучение ключевых модельных территорий Тверской области позволило проанализировать этапы формирования вторичных лесных сообществ с полемохорами на основе луговых и рудеральных, а также варианты включения наиболее ценотически активных полемохоров в состав болотных фитоценозов (Нотов и др., 2020; 2022а, б, 2023б). Эти исследования дали ценные материалы об этапах послевоенной адвентизации флоры.

Базовые модельные территории Ржевско-Вяземского плацдарма – уникальные объекты для будущего анализа феноменов полемохории. Актуально специальное изучение агрегатов микровидов и агамно-половых комплексов (Решетникова и др., 2021; Нотов и др., 2023б; Решетникова, 2023). Большой интерес может представлять выявление разнообразия представителей рода *Alchemilla* L., микровиды которого склонны к полемохорным заносам (Heikkinen, 1969; Piirainen, Alm, 2001; Piirainen, Chkalov, 2018; Kozhin et al., 2019).

Нами организовано изучение всех основных компонентов биоты беллигеративных ландшафтов в районах Ржевской битвы. Оно дало возможность выявить новые для Тверской области виды лишайников и лихенофильных грибов (Коткова и др., 2023, 2024).

Полемохоры как объекты междисциплинарных исследований

Детальные исследования полемохоров в Центральной России совпали с ростом интереса к фитоинвазиям, что позволило признать изучение этой группы чужеродных растений в качестве одного из перспективных направлений инвазионной биологии (Tokhtar et al., 2021; Vinogradova et al., 2021; Виноградова, 2022). Однако наряду с традиционными задачами, связанными с выяснением особенностей распространения, динамики натурализации, инвазионного потенциала, для полемохоров оказались актуальными все проблемы, сопряженные с ключевыми векторами развития инвазионной биологии. Среди них анализ многолетней динамики чужеродной флоры, роли гибридизации в повышении инвазивности, изучение генотипической изменчивости и микроэволюционных процессов, оценка инвазibility биотопов, подготовка глоссария (Vinogradova et al., 2021; Виноградова, 2022, 2024). На значимость изучения полемохоров для некоторых из этих задач уже обращали внимание (Решетникова и др., 2021; Нотов и др., 2020, 2022б, 2023б; Щербаков, 2024). Разработка указанных проблем с учетом материалов о полемохорах важна не только для инвазионной биологии. Она будет способствовать развитию различных областей биологии и экологии, междисциплинарному синтезу знаний.

Фундаментальное значение имеет осмысление специфических феноменов полемохории (Нотов и др., 2023а, б). Оно необходимо для

формирования адекватного терминологического базиса биогеографии, теоретической экологии, популяционной биологии, фитоценологии.

В качестве модельного объекта полемохоры интересны для широкого спектра биологических и экологических дисциплин. Среди них биогеография, фитоценология, биоморфология, популяционная биология и генетика, аут- и синэкология, охрана биоты и рациональное природопользование. Изучение полемохоров существенно дополняет проблематику каждой дисциплины и сопряжено со специфическими методическими и практическими задачами (Нотов и др., 2018, 2019, 2020, 2022а, б, в, 2023б; Решетникова и др., 2021). Весьма важной, например, является проблема ошибочного включения полемохоров в региональные Красные книги (Решетникова, 2015, 2020).

В настоящее время формируются предпосылки для интеграции исследований по анализу различных компонентов биологического и ландшафтного разнообразия. Важным итогом стало обобщение данных о биоразнообразии равнинных биомов России (Огуреева и др., 2020). В структуре природных комплексов этой территории значимую роль играют беллигеративные ландшафты (Чичагов, 2007, 2014; Голеусов, 2012 и др.). Соотнесение сведений о полемохорах и их ценотической роли с данными о динамике растительности и беллигеративных ландшафтов могло бы детализировать представления о механизмах сопряженной трансформации разных структурных элементов биомов.

Особое значение имеет интеграция исследований в области биологии и экологии, гуманитарных и социальных дисциплин. Анализ разных аспектов, связанных с полемохорными инвазиями, был бы интересен в контексте развития экологической истории и биополитики (Нагорная, Голубинов, 2021; Стародубцев, Лупанова, 2023). Актуально при этом сопоставление материалов о воздействии на природу войн разных исторических периодов (Кузьмин, 2015; Фертиков, 2021).

Полемохоры и образовательная деятельность

Значительный эвристический потенциал комплексного изучения полемохоров важен не только для междисциплинарной интеграции знаний, но и является весомым фактором повышения эффективности образовательной деятельности. Нетрадиционность модельного объекта в сочетании с оригинальностью решаемых проблем и получаемых результатов существенно усиливает интерес школьников и студентов к исследованиям и к процессу обучения в целом (Нотов и др., 2023а). В ходе выполнения проектной работы происходит осознание различных проблем, связанных с биологией, экологией, сохранением биоты, историей, биоэтикой, биополитикой, устойчивым развитием. Такая интегративность имеет большое мировоззренческое и воспитательное значение, способствует гуманизации и экологизации образования.

Учебные проекты по полемохорам играют особую роль в патриотическом воспитании, в формировании гражданской позиции и нравственной сферы личности (Нотов В. и др., 2019, 2024). В наши дни

все более очевидной становится актуальность глубокого осмысления последствий войн. Проблема сохранения мира приобрела глобальный характер. Ее решение крайне необходимо для устойчивого развития планеты. Осознание этого явно усиливается при работе с материалами, связанными с длительной оккупацией и кровопролитными боевыми операциями ключевых этапов Великой Отечественной войны. Анализ полемохоров наполнен трагичным «чувственным содержанием». Они – «горькая память земли» (Сенников, 2012), «печальное эхо ушедшей войны», «предупреждение» об ответственности за сохранение мира.

Все это позволяет рассматривать более широкое использование полученного опыта исследовательской деятельности школьников и студентов (Нотов В. и др., 2019, 2024; Нотов и др., 2023а) в контексте ключевых задач модернизации образования. Среди них развитие форм экологического и инициативного обучения (Марфенин, 2021; Марфенин, Попова, 2021). В отношении полемохоров инициативность и мотивацию к познанию укрепляет оригинальность модельного объекта, его выраженная эмоциональная окраска, особая актуальность проектов, нетривиальность задач и выявляемых связей (Нотов и др., 2023а).

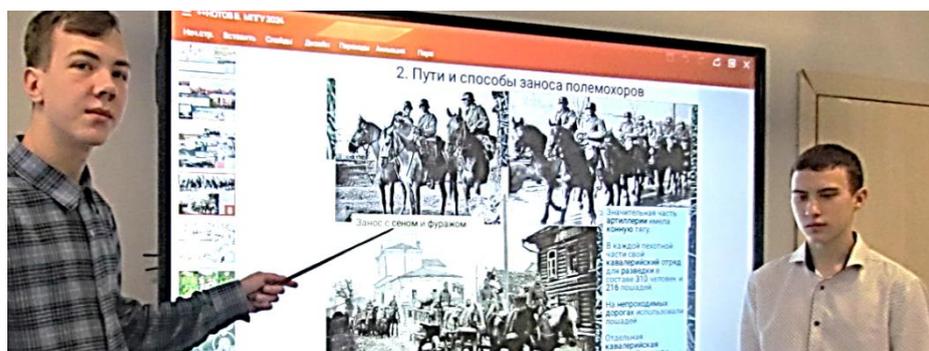


Рис. 2. Учащиеся МБОУ СОШ № 3 пос. Редкино Е.С. Деменковец, Е.В. Матвеев на научной конференции (фото В.А. Нотова, 2024 г.)

Изучение полемохоров учащимися МБОУ СОШ № 3 поселка Редкино проводится уже более пяти лет (Нотов В. и др., 2019, 2024). Школьники регулярно представляют свои проекты на конференциях разного уровня (рис. 2). Исследования реализуются благодаря тесным контактам со специалистами ФБГОУ ВО «Тверской государственный университет». Полемохорные заносы стали также объектами изучения в курсовых проектах и ВКР студентов этого вуза (Нотов и др., 2024а).

Имеется опыт использования в образовательной деятельности материалов о беллигеративных ландшафтах (Алексеева, Жогова, 2015; Кошевой, 2023; Кошевой и др., 2023).

Заключение. Детальный анализ материалов о полемохорах позволил оценить эвристический потенциал разных явлений и процессов, связанных с полемохорией, выявить новые феномены, выяснить перспективы будущих комплексных исследований. Все это в

полной мере позволяет рассматривать полемохоры как триггерный объект в современной биологии и экологии. Этот статус усиливается и его значением для междисциплинарной интеграции естественнонаучных дисциплин, гуманитарных и социальных наук.

Полемохоры стали также ценным объектом для образования, просвещения, патриотического воспитания. Актуально более широкое использование уже имеющегося опыта.

Список литературы

- Алексеева Н.С., Жогова М.Л.* 2015. Изучение беллигеративных ландшафтов России как составляющая патриотического воспитания // Университетское образование (МКУО-2015). Пенза: ПГУ. С. 223-225.
- Арсанукаев Р.Х.* 2008. Функции и возможности науки в перспективе устойчивого цивилизационного развития // Вестн. РУДН. Сер. Философия. № 1. С. 5-11.
- Баранова О.Г., Щербаков А.В., Сенатор С.А.* 2018. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры // Фиторазнообразия Восточной Европы. Т. 12. № 4. С. 4-22.
- Беньковская М.Я.* 2017. Чужеродные жесткокрылые насекомые европейской части России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. 22 с.
- Бигильдина Э.Р., Усманова А.Р., Сайфуллин И.Ю., Файрузов И.И.* 2021. Беллигеративные ландшафты: история вопроса, особенности формирования, проблемы использования // Астрахан. вестн. экол. образования. № 6(66). С. 30-40.
- Виноградова Ю.К.* 2022. Ключевые направления изучения фитоинвазий в России // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться. М.: МГУ. С. 29-39.
- Виноградова Ю.К.* 2024. Проблематика исследований инвазионной биологии растений в России и странах СНГ // Промышленная ботаника. Т. 24. № 1. С. 99-106.
- Водопьянова Е.В.* 2018. Российская наука: потенциальные точки роста // Современная Европа. № 1(80). С. 15-25.
- Воробйов В.В., Шило О.С.* 2023. Післявоєнна відбудова міст України в ареалах розповсюдження беллігеративних ландшафтів // Український журнал будівництва та архітектури. № 3 (015). С. 40-49.
- Герасимов И.П., Гохман В.М.* 1988. География войны и мира // Глобальные проблемы географической науки. М. С. 15-22.
- Глоссарий* 2012. Основные термины и понятия, используемые при изучении адвентивной и синантропной флоры. URL: <https://www.sites.google.com/site/tlrbo/home/forum/glossarij> (дата обращения: 26.02.2024).
- Голеусов П.В.* 2012. Особенности воспроизводства фитоценозов и почв лесных экосистем, нарушенных в период Курской битвы // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. № 15 (134). С. 124-128.
- Гохберг Л.М.* (ред.) 2024. Будущее мировой науки. М.: Высш. шк. эконом. 314 с.
- Гусаков В.* 2021. Белорусская наука на пути к новым точкам роста // Наука и инновации. № 11 (225). С. 4-13.
- Дубовик Д.В., Савчук С.С.* 2024. Перспективы изучения чужеродной флоры Беларуси // Фиторазнообразия Восточной Европы. Т. 18(3). С. 41-47
- Зав'ялова Л.В., Протопопова В.В., Панченко С.М., Смаголь В.О., Коломійчук В.П., Кучер О.О., Шевера М.В.* 2022. Синантропізація рослинного покриву України внаслідок воєнних дій // Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій. Полтава; Львів. С. 31-52.
- Загороднюк І.* 2023. Природнича термінологія в описах змін біоти в умовах війни та бойових дій // Світові виміри освітніх тенденцій. Київ: НАУ. С. 30-41.
- Загороднюк І.В.* 2024а. Природничі теренові дослідження воєнного часу в Україні:

- зміни пріоритетів // Вісник НАН України. № 4. С. 58-68.
- Загороднюк І.В.* 2024б. Фауна війни: окопні фауни, полемохори, безпритульні, інвайдери (теріологічні аспекти) // *Theriologia Ukrainica*. Т. 2024. № 27. С. 3-24.
- Калиниченко І.М.* 2022. О малоизвестной публикации П.Ф. Маевского «Об эмигрантах растительного царства» // *Фитоинвазии: остановитъ нельзя сдаваться*. М.: МГУ. С. 418-422.
- Калов Р.О., Ваганова А.Б.* 2013. Беллигеративные комплексы как генетический тип техногенных ландшафтов // *Проблемы регион. экологии*. № 6. С. 137-139.
- Кин Н.О., Струков Р.О.* 2021. Беллигеративные ландшафты как форма экологического риска // *Вопросы степеведения*. № 3. С. 4-18.
- Ковалев И.В., Лосев В.В.* 2023. Обзор документов стратегического планирования федерального уровня в сфере научно-технологического развития // *Информатика. Экономика. Управление*. № 2(3). С. 401-425.
- Кожин М.Н., Боровичев Е.А., Кравченко А.В., Попова К.Б., Разумовская А.В.* 2020. Дополнение к адвентивной флоре Мурманской обл. // *Turczaninowia*. Т. 23. № 4. С. 111-126.
- Кольцов Н.* 1916. Фауна млекопитающих окопов // *Природа*. № 7-8. С. 926.
- Королькова Е.О., Васильков Я.Е.* 2020. Биоклиматическое моделирование распространения западноевропейских видов сосудистых растений для установления их полемохорного происхождения на территории Средней России // *Информационные технологии в исследовании биоразнообразия*. М. С. 314-315.
- Костоломов М.Н.* 1984. К милитаризованной флоре Мурманской области // *Вестн. ЛГУ. Биология*. Вып. 4. № 21. С. 89-92.
- Коткова В.М., Афонина О.М., Алвердиева С.М.* и др. 2024. Новые находки водорослей, грибов, лишайников и мохообразных. 13 // *Новости систематики низших растений*. Т. 58-1. С. R1-R45.
- Коткова В.М., Чернядьева И.В., Давыдов Е.А.* и др. 2023. Новые находки водорослей, грибов, лишайников и мохообразных. 12 // *Новости систематики низших растений*. Т. 57-2. R1-R58.
- Котов М.* 1924. Як вплинула громадянська війна на поширення рослин та тварин на Україні та Росії? // *Знаття*. № 12. С. 24-26.
- Кошевой В.А.* 2023. Образовательный и воспитательный потенциал беллигеративных комплексов НП "Смоленское Поозерье" // *Природа и общество: в поисках гармонии*. № 9. С. 35-52.
- Кошевой В.А., Зейналова Е.Ю., Зерова К.А.* 2023. Беллигеративные ландшафты Смоленского Поозерья как основа школьной познавательной-патриотической экскурсии // *Туризм – будущее и современность*. М. С. 70-74.
- Кравченко А.В.* 1997. Дополнения к флоре Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН. 58 с.
- Кравченко А.В.* 2007. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН. 403 с.
- Кравченко А.В.* 2019. Основные результаты многолетнего мониторинга флоры заповедника "Пасвик" и смежных территорий Мурманской обл. // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения*. Апатиты. С. 236-237.
- Кузьмин И.В.* 2015. Военная флора: растения во времена войн и революций // *AUS Sibirien-2015*. Тюмень: ТюмГУ. С. 60-63.
- Куропаткин В.В., Конечная Г.Ю., Ефимов П.Г., Доронина А.Ю.* 2019. Новые данные по флоре сосудистых растений Новгородской обл. // *Бот. журн.* Т. 104. № 8. С. 1252-1268.
- Маевский П.Ф.* 1878. Об эмигрантах растительного царства // *Изв. о-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии*. Т. 25. № 2. С. 219-221.
- Марков Б.В., Бочарников В.Н.* 2022. Цивилизация в экологическом мировосприятии // *Studia Humanitatis Borealis*. № 3 (24). С. 3-13.
- Марфенин Н.Н.* 2021. Уникальность «экологического образования» в ряду других направлений образования // *Образование-2030. Учитесь. Пробовать*. М. С. 153-157.

- Марфенин Н.Н., Попова Л.В.* 2021. Образование для устойчивого развития в неустойчивом мире // Уч. зап. Забайкал. гос. ун-та. Т. 16. № 4. С. 40-54.
- Нагорная О.С., Голубинов Я.А.* 2021. Экологическая история Первой мировой войны на Восточном фронте: лакуны историографического ландшафта и исследовательские перспективы // Вестн. ПГНИУ. Сер. Истор. № 2(53). С. 5-16.
- Назаров М.И.* 1925. Переселение растений в связи с войной и революцией // Хочу все знать. № 2. С. 10-11.
- Назаров М.И.* 1927. Адвентивная флора средней и северной части РСФСР за время войны и революции // Изв. ГБС. Т. 26. Вып. 3. С. 223-233.
- Нотов А.А., Мейсунова А.Ф., Зуева Л.В., Андреева Е.А.* 2018. Среднеевропейские виды во флоре Тверского региона на рубеже XIX–XX веков // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 204-215.
- Нотов А.А., Мейсунова А.Ф., Иванова С.А., Нотов В.А., Бордачев В.А., Колонтаева А.А., Бычкова М.Е.* 2023а. О некоторых нетрадиционных объектах учебно-полевых исследований по биологии и экологии // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4(72). С. 140-154.
- Нотов А.А., Нотов В.А.* 2019. О полемохорных и аборигенных популяциях некоторых видов флоры Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4(56). С. 84-102.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Зуева Л.В., Андреева Е.А.* 2019. Полемохоры Тверской области и проблема биологических инвазий // Разнообразие растительного мира. № 3(3). С. 22-27.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Зуева Л.В., Иванова С.А., Андреева Е.А., Мидоренко Д.А.* 2022а. Динамика фитоценозов с участием полемохоров в окрестностях пос. Мончалово (Тверская обл.) // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4(68). С. 100-119.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Зуева Л.В., Петухова Л.В., Иванова С.А., Андреева Е.А.* 2022б. Особенности натурализации некоторых полемохоров в Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 1(65). С. 141-163.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Иванова С.А., Зуева Л.В., Андреева Е.А.* 2023б. Полемохоры в экосистемах района боевых действий Погорело-Городищенской операции // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 1(69). С. 250-275.
- Нотов А.А., Нотов В.А., Иванова С.А., Зуева Л.В., Мидоренко Д.А.* 2020. *Cruciata laevipes* в экосистемах Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3(59). С. 74-85.
- Нотов А.А., Петухова Л.В., Степанова Е.Н., Мейсунова А.Ф., Нотов В.А., Иванова С.А., Зуева Л.В.* 2022в. Биоморфологические исследования как элемент комплексного анализа полемохоров Тверской области // Биоморфология растений: традиции и современность. Киров: Вятский гос. ун-т. С. 261-266.
- Нотов В.А., Нотов А.А., Зуева Л.В.* 2019. Изучение полемохоров как тематическое направление исследовательских работ учащихся // Материалы X Междунар. конф. по экологической морфологии растений. М.: МПГУ. С. 178-183.
- Нотов В.А., Свежнецова Н.Б., Нотов А.А., Иванова С.А., Антропов П.С., Деменковец Е.С., Матвеев Е.В.* 2024. Полемохоры как объекты изучения в исследовательской деятельности учащихся и студентов // Экол. морфология растений. М. С. 299-303.
- Панасенко Н.Н.* 2022. Роль инвазионных растений в современных процессах преобразования растительного покрова: дис. ... д-ра биол. наук. М. 390 с.
- Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Микляева И.М. и др.* 2020. Биоразнообразие биомов России: равнинные биомы. М.: МПГУ. 623 с.
- Орлова-Беньковская М.Я.* 2017. Основные закономерности инвазионного процесса у жесткокрылых (Coleoptera) европейской части России // Российский журнал биологических инвазий. Т. 10. № 1. С. 35-56.

- Решетникова Н.М.* 2015. Путь появления некоторых западноевропейских растений в Калужской области – путь следования немецкой армии в 1941–1943 // Российский журнал биологических инвазий. № 4. С. 95-104.
- Решетникова Н.М.* 2020. Проблемы охраны растений, обитающих в Центральной России на восточной границе ареала // Флора и охрана генофонда. М: МГУ. С. 84-90.
- Решетникова Н.М.* 2023. *Viola reischenbachiana* (Violaceae) – новый вид для флоры Средней России // Бот. журн. Т. 108. № 4. С. 388-391.
- Решетникова Н.М., Нотов А.А., Майоров С.Р., Щербаков А.В.* 2021. Великая Отечественная война как фактор флорогенеза: результаты поиска полемохоров в Центральной России // Журн. общ. биологии. Т. 82. № 4. С. 297-317.
- Решетникова Н.М., Ягодовская М.П.* 2023. Дополнения к флоре Калужской области (2021–2022 гг.) // Бюл. МОИП. 2023. Отд. биол. Т. 128. Вып. 6. С. 31-38.
- Розенберг А.Г., Кудинова Г.Э., Розенберг Г.С.* 2024. Времена кризиса, времена перемен: наука для ускорения преобразований в целях устойчивого развития // Биосфера. Т. 16. № 2. С. 261-268.
- Розенберг Г.С., Гелашивили Д.Б.* 2013. 100 основных экологических проблем: взгляд из Великобритании // Биосфера. Т. 5. № 4. С. 374-383.
- Семеряга О.П.* 2014. Аналітичний огляд методів дослідження білігеративний ландшафтів // Геополитика и экогеодинамика регионов. Т. 10. № 1. С. 194-200.
- Сенников А.Н.* 2012. Горькая память земли: Растения-полемохоры в Восточной Фенноскандии и Северо-Западной России // Проблемы изучения адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья. Ижевск. С. 182-185.
- Стародубцев М.П., Лупанова Е.М.* 2023. Современная экологическая история: истоки и перспективы развития // Вопросы истории. № 9-1. С. 116-131.
- Стронгин Р.Г.* 2024. Российская наука перед вызовами времени: будущее российской цивилизации // Вестн. ННГУ. Сер. Соц. науки. № 1(73). С. 177-179.
- Титовец А.В., Решетникова Н.М.* 2022. Распространение чужеродных и инвазионных видов растений в границах особо охраняемых природных территорий на примере национального парка «Смоленское Поозерье» // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться. М.: МГУ. С. 229-235.
- Федюкин И.* 2009. Российская наука: от кризиса качества к поиску точек роста // Экономическая политика. № 5. С. 62-74.
- Фертиков В.И.* 2021. Государственный комплекс «Таруса». М.: Буки Веди. 224 с.
- Хорун Л.В.* 2014. Проблемы инвазионной экологии растений в зарубежной научной литературе // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. № 3. С. 64-77.
- Чичагов В.П.* 2007. Война и пустыня. Военные разрушения природы аридных регионов. М.: Ин-т географии РАН. 104 с.
- Чичагов В.П.* 2014. Военные преобразования равнин Прикаспия во время Великой Отечественной войны // Астрахан. вестн. экол. образования. № 2(28). С. 16-24.
- Щербаков А.В.* 2024. Стоит ли искать растения-полемохоры в Центральном Черноземье и, если да, то где? // Флора и растительность Центрального Черноземья – 2024: Материалы межрегион. науч. конф. Курск. С. 146-149.
- Ярилин А.А.* 2008. "Золушка" становится принцессой, или место биологии в иерархии наук. Принцип дополнительности основных подходов к биологии – ключ к превращению биологии в лидера современного естествознания // Экология и жизнь. № 12. С. 4-11.
- Ягодовская М.П., Решетникова Н.М.* 2023. Анализ новых данных по чужеродной флоре национального парка «Угра» (с 2005 г.) // Современные проблемы экспериментальной ботаники. Минск: Транстехника. С. 405-409.
- Ahti T., Hämet-Ahti L.* 1971. Hemerophilous flora of the Kuusamo district, northeast Finland, and the adjacent part of Karelia, and its origin // Ann. Bot. Fenn. V. 8. № 1. P. 1-91.

- Alm T., Piirainen M.* 1997. Vaarlamaasaari – Changes in the cultural landscape of former Finnish farm sites on a Paatsjoki/Pasvik River island (Pechenga, Russia) during the last 60 years // *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.* V. 73. P. 37-44.
- Alm T., Piirainen M., Offen A.* 2009. *Centaurea phrygia* subsp. *phrygia* as a German polemochores in Sør-Varanger, NE Norway, with notes on other taxa of similar origin // *Bot. Jahrb. Syst.* V. 127. P. 417-432.
- Bureau E.* 1874. Séance du 8 Mai 1874 // *Bull. Soc. Bot. France.* V. 21. P. 152-168.
- Gaudefroy E., Mouillefarine E.* 1871. Note sur des plantes méridionales observées aux environs de Paris (Florule obsidionalis) // *Bull. Soc. Bot. France.* V. 18. P. 246-252.
- Gaudefroy E., Mouillefarine E.* 1872. La florule obsidionale des environs de Paris en 1872 // *Bull. Soc. Bot. France.* V. 19. P. 266-277.
- Gilbert O.* 2000. The lichens of disused World War 2 airfields // *Lichenologist.* V.32(6).P.585-600.
- Glossary of invasion biology terms* 2024: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Glossary_of_invasion_biology_terms (дата обращения: 26.10.2024).
- Godron D.A.* 1853. Florula juvenalis: seu, Enumeratio et descriptio plantarum, è seminibus exoticis inter lanas allatis enatarum in campestribus Portûs Juvenalis. Boehm.
- Gras A.* 1861. Souvenirs d'une herborisation a Verceil // *Bull. Soc. Bot. France.* V.8. P. 684-689.
- Heikkinen L.* 1969. Die *Alchemilla*-Flora der Provinz Kainuu (Ost-Finnland) unter besonderer Berücksichtigung der polemochores Fernverbreitung der Arten // *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.* V. 45. P. 52-62.
- Kupffer K.R.* 1922. Der Einfluss des Weltkrieges auf die Pflanzenwelt bei Riga. Riga. 24 S.
- Korolkova E.O., Vasilkov Ya.E.* 2019. Bioclimatic modeling of *Avenella flexuosa* (L.) Drejer distribution in connection with its possible polemochoral origin on the territory of Central Russia // *Социально-экологические технологии.* № 4. С. 414-425.
- Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Kutenkov S.A., Sennikov A.N.* 2019. The flora and vegetation of Sosnovets Island, the White Sea // *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.* V. 95. P. 1-35.
- Kozhin M.N., Sennikov A.N.* 2022. New records in non-native vascular plants of Russian Lapland // *Biodiversity Data Journal.* V. 10. e78166.
- Kreuzpointner J.B.* 1876. Notizen zur Flora Münchens // *Flora.* 1876. Jg. 59. S. 77-80.
- Lid J., Lid D.T.* 2005. Norsk Flora. Oslo. 1230 s.
- Luther H.* 1948. Krigets spar i Finlands flora // *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.* V. 24. P. 138-160.
- Mannerkorpi P.* 1944. Uhtuan taistelurintamalla saapuneista tulokaskasveista // *An. Bot. Fennici Soc. zoologica-botanica Fennica. Vanamo.* V. 20. № 15. P. 39-51.
- Nagornaia O.S., von Lingen K.* 2023. Conflict landscapes of the great war: the spatial and ecological dimension of military history // *Quaestio Rossica.* T. 11. № 2. P. 571-585.
- Niemi B.* 1969. Influence of the Soviet tenancy on the flora of the Porkkala area // *Acta Bot. Fenn.* V. 84. P. 1-52.
- Oleskin A.V.* 2012. Biopolitics: the political potential of the life sciences // *Nova Sci.* 255 p.
- Piirainen M., Alm T.* 2001. Syvhornmarikåpe *Alchemilla heptagona* Juz. Ogmånemarikåpe *A. semilunaris* i Sør-Varanger, Finnmark – to nye arter for Norge // *Blyttia.* V.59(3).P.152-161.
- Piirainen M., Chkalov A.* 2018. *Alchemilla parcipila* Juz. and *A. stellaris* Juz. as polemochores in Finland – the first records outside Russia – and the correct identity of *A. polemochora* S.E. Fröhner // *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.* V. 94. P. 67-77.
- Retkeilykasvio* (Field flora of Finland) 1998. Helsinki: Museum of Natural History. 656 p.
- Salter C., Nocella A.J., Bentley J.K.C.* (eds). 2014. Animals and war: confronting the military-animal industrial complex. Lanham: Lexington Books. 182 p.
- Tokhtar V.K., Kurskoy A.Y., Vinogradova Y.K., Notov A.A., Danilova E.S.* 2021. Main directions of the study of plant invasions in Russia // *Environmental and Socio-Economic Studies.* V. 9. № 4. P. 45-56.
- Vinogradova Y.K., Tokhtar V.K., Notov A.A., Mayorov S.R., Danilova E.S.* 2021. Plant invasion research in Russia: basic projects and scientific fields // *Plants.* V. 10. № 7. 1477.

- Watson H.C. 1870. A compendium of the *Cybele britannica*; or British plants in their geographical relations. London: Longmans, Green, Reader, Dyer. VI, 651 p.
- Wearn J., Hudson J. 2014. Lichens and war graves – from Kew's archives to the modern day // British Lichen Society Bulletin. V. 114. P. 23-26.
- Wearn J.A. 2016. Seeds of change – polemobotany in the study of war and culture // J. War Cult. Stud. V. 9. № 3. P. 271-284.
- Woodward R. 2014. Military landscapes: agendas and approaches for future research // Progress in Human Geography. 2014. V. 38. P. 40-61.

POLEMOCHORES AS A TRIGGER OBJECT IN SCIENCE AND EDUCATION

A.A. Notov¹, A.F. Meysurova¹, S.A. Ivanova¹, V.A. Notov^{2,1}

¹Tver State University, Tver

²Secondary School № 3, Redkino Settlement, Tver Region

The study of polemochores is of interest for the development and integration of various scientific disciplines. Polemochores can become objects of comprehensive research in biology, ecology, and history. The analysis of polemochoric invasion within the educational activities contributes to the improvement of its scientific level and patriotic education.

Keywords: *polemochores, the Great Patriotic War, biological invasions, science, biology, ecology, history, education, patriotic education.*

Об авторах:

НОТОВ Александр Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: anotov@mail.ru.

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: Meysurova.AF@tversu.ru.

ИВАНОВА Светлана Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: dmitrievas@mail.ru.

НОТОВ Валерий Александрович – кандидат биологических наук, учитель биологии МБОУ СОШ № 3 пос. Редкино, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 171261, Тверская обл., Конаковский р-н, пгт. Редкино, ул. Диева, д. 33а, e-mail: vnotov123@mail.ru.

Нотов А.А. Полемохоры как триггерный объект в науке и образовании / А.А. Нотов, А.Ф. Мейсурова., С.А. Иванова, В.А. Нотов // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2024. № 4(76). С. 130-144.

Дата поступления рукописи в редакцию: 02.09.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.24

Журнал Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология решением Президиума ВАК включен в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата биологических наук.

Контактные данные редакционной коллегии

170002, г. Тверь, пр-т Чайковского, д. 70, ком. 201
Телефон: +7(4822) 32-06-80
e-mail: vestnikbio@gmail.com
главный редактор – Зиновьев Андрей Валерьевич;
ответственный секретарь – Иванова Светлана Алексеевна;
технический редактор – Игнатъев Данила Игоревич.

Вестник Тверского государственного университета.

Серия: Биология и экология № 4 (76), 2024
Подписной индекс: **85683** (интернет-каталог «Пресса России»)

Подписано в печать 20.12.2024. Выход в свет 23.12.2024
Формат 70 x 108¹/₁₆. Бумага типографская № 1.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,52.
Тираж 500 экз. Заказ № 290.
Издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет».
Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33.
Отпечатано в издательстве
Тверского государственного университета.
Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, Студенческий пер., д. 12, корпус Б.
Тел. 8 (4822) 35-60-63.
Цена свободная.