ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Том 2. № 3 / 2024

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL
Научно-теоретический сетевой журнал

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

Том 2. № 3 / 2024

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Основан в 2023 году
4 номера в год

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Эл № ФС77-85810 от 22 августа 2023 года

Деятельность Тимирязевского биологического журнала осуществляется с целью научного и профессионального сотрудничества в области биологических наук, в том числе для развития сельского хозяйства.

Целевая аудитория журнала – исследователи, специалисты, представители академического и профессионального сообществ, работающие по теоретическим и прикладным направлениям биологической и сельскохозяйственной наук, и на их стыке.

В журнале публикуются оригинальные статьи, описывающие результаты научных исследований, обзорные статьи и краткие сообщения

Адрес редакции: 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58 (корпус 27), каб. 221.
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2
e-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
https://www.bioscience-journal.com/

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Vol. 2(3)/2024

TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Scientific and Theoretical quarterly online journal

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

Vol. 2(3)/2024

Founder and publisher:
Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University

Founded in 2023
Four issues per year

The mass media registration certificate
Эл № ФС77-85810 of August 22, 2023

The Timiryazev Biological Journal aims at scientific and professional cooperation in the field of biological sciences, including for the development of agriculture.

The main target audience of the journal are researchers, specialists, representatives of academic institutions a nd professional associations working in the theoretical and applied fields of the biological and agricultural sciences and at their interface.

The journal publishes original articles describing research findings, as well as review articles and research briefs.

Editors' office address: 58, Timiryazevskaya str., Moscow, 127550
Tel.: +7 (499) 976-07-48*2
E-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
https://www.bioscience-journal.com/

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ /
BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

БОТАНИКА

Оригинальная научная статья
УДК 635.92: 582.751.2
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-6-13

Особенности развития почек возобновления некоторых видов рода *Geranium* L.

Ольга Вячеславовна Корякина, Алена Павловна Демидова, Сергей Сергеевич Макаров

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Вячеславовна Корякина, okoryakina@rgau-msha.ru

Аннотация
Род *Geranium* L. семейства *Geraniaceae* Juss. включает в себя более 450 видов, распространенных в зонах умеренных климатических поясов и в горных районах тропических поясов. В настоящее время насчитывается около 850 сортов гераней иностранного происхождения включая межвидовые гибриды. Многолетние зимостойкие герани (*Geranium* L.) широко применяются в качестве декоративных, лекарственных и медоносных растений, а также в качестве сырья для производства эфирного масла. Комплексное изучение их хозяйственно-биологических признаков и свойств является перспективной задачей для успешного использования гераней в различных сферах. В статье приведены результаты изучения особенностей морфогенеза генеративных органов некоторых видов *Geranium* L. до начала весеннего отрастания на дерново-подзолистых почвах в условиях Центрального Нечерноземья. Объектами исследования являлись Герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.), Герань темно-бурая (*Geranium phaeum* L.), Герань крупнокорневищная (*Geranium macrorrhizum* L.) и Герань оксонская (*Geranium* x *oxonianum* Yeo) ‘Wargrave Pink’ из полевой коллекции декоративных гераней овощной опытной станции имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Установлена прямая зависимость между степенью развития вегетативно-генеративных почек в период весеннего отрастания, их морфологическими параметрами и сроками цветения. Описаны особенности строения побегов возобновления и корневищ гераней. Морфологические данные, отражающие состояние вегетативно-генеративных почек в весенний период, предоставляют возможность прогнозировать дальнейшие сезонные ритмы роста и развития растений.

Ключевые слова
Geranium, герань, вегетативное размножение, корневища, монокарпические побеги, декоративные растения, коллекция, особенности развития почек возобновления герани

Для цитирования:
Корякина О.В., Демидова А.П., Макаров С.С. Особенности развития почек возобновления некоторых видов рода *Geranium* L. // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 6-13. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-6-13

BOTANY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-6-13

Features of renewal bud development in some species of the genus *Geranium* L.

Olga V. Koryakina, Alena P. Demidova, Sergey S. Makarov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Olga V. Koryakina; okoryakina@rgau-msha.ru

Abstract
The genus *Geranium* L. of the family *Geraniaceae* Juss. includes more than 450 species, distributed in temperate climate zones and mountainous tropical zones. Currently, there are about 850 varieties of geraniums of foreign origin, including interspecific hybrids. Perennial hardy geraniums (*Geranium* L.) are widely used as ornamental, medicinal and melliferous

plants, as well as raw materials for the production of essential oils. A comprehensive study of their economic and biological traits and properties is a promising task for the successful use of geraniums in various fields. The article presents the results of the study of the features of the morphogenesis of the generative organs in some species of *Geranium* L. before the beginning of the spring regrowth on sod-podzolic soils in the conditions of the Central Non-Black Earth region. The objects of the study were *Geranium sylvaticum* L., *Geranium phaeum* L., *Geranium macrorrhizum* L. and *Geranium x oxonianum* Yeo 'Wargrave Pink' from the field collection of ornamental geraniums of the Vegetable Experimental Station named after V.I. Edelshtein, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. A direct relationship was established between the degree of development of vegetative-generative buds during the period of spring regrowth, their morphological parameters and flowering dates. The structural features of renewal shoots and rhizomes of geraniums are described. Morphological data characterizing the state of vegetative-generative buds in spring provide an opportunity to predict further seasonal rhythms of plant growth and development.

Keywords
Geranium, vegetative propagation, rhizomes, monocarpic shoots, ornamental plants, collection, features of geranium renewal bud development

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Koryakina O.V., Demidova A.P., Makarov S.S. Features of renewal bud development in some species of the genus *Geranium* L. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(3):6-13. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-6-13

Введение
Introduction

В мире декоративные зимостойкие герани в последние два десятилетия широко используются в озеленении [1-4], в России их распространение только начинается. Виды и сорта объемного рода *Geranium* L. семейства *Geraniaceae* Juss. известны как красивоцветущие и декоративно-лиственные травянистые многолетние растения, обитающие в различных по условиям растительных сообществах, и являются весьма перспективными [5].

Включение в ассортимент и широкое внедрение видов и сортов растений в зеленое строительство возможны после комплексного изучения их хозяйственно-биологических признаков и свойств, в том числе установления ритмов роста и развития, устойчивости к неблагоприятным факторам среды, особенностей размножения. Такое изучение позволяет выявлять наиболее адаптивные растения, имеющие здоровый и привлекательный вид, способные к возобновлению и размножению. Изучение морфогенеза генеративных побегов связано с особенностями сезонного развития растений. Сроки цветения, этапы органогенеза у зрелых почек возобновления и сроки их закладки взаимосвязаны.

Наблюдения за ходом органообразования позволяют значительно раньше, чем при фенологических наблюдениях, выявить неблагоприятное действие на растения метеорологических факторов, недостаток минерального питания, фактор повреждения вредителями и болезнями, выявить необходимость в улучшении питательного или водного режима и др[1]. Изучение морфогенеза почек возобновления позволяет прогнозировать потенциальную продуктивность растений гераней (число вегетативных и вегетативно-генеративных побегов) и сроков цветения.

Цель исследований: определить особенности морфогенеза генеративных органов и репродуктивную способность некоторых видов *Geranium* до начала весеннего отрастания на дерново-подзолистых почвах в условиях Центрального Нечерноземья.

Методика исследований
Research method

Объектом исследований являлись *G. sylvaticum* L., *G. phaeum* L., *G. macrorrhizum* L. и *G.* x *oxonianum* Yeo 'Wargrave Pink', представленные в полевой коллекции декоративных гераней овощной опытной станции имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Коллекция была заложена в октябре 2021 г. Исследования проведены до начала – в начале отрастания побегов возобновления. Корневища с корнями выкапывали 10 апреля 2023 г., материал хранили при температуре +4°…+5°С в холодильнике.

Все изученные образцы летом 2022 г. успешно цвели и формировали плоды. Лето 2022 г. характеризовалось как жаркое, засушливое, с рекордными температурами в августе. По данным ресурса «Погода и климат»[2], средняя температура летнего периода в Москве составила 20,7°С, отклонение от нормы – +4.3°С. Сумма выпавших осадков составляет 5% от нормы. Осенне-зимний период

[1] Куперман Ф.*М. Морфофизиология растений*. Москва: Издательство Московского государственного университета, 1984. 240 с.

[2] Погода и климат. URL: http://www.pogodaiklimat.ru (дата обращения: 01.08.2024).

характеризовался как слабо морозный, средняя температура воздуха на 1,2°С превысила климатическую норму. Основной «вклад» внесли февраль (–4.1°С), который стал на 1,9°С теплее нормы, и январь (теплее на 1,5°С), декабрь был близок к норме (отклонение составило +0,3°С) (рис. 1).

Дату первого заморозка наблюдали 11 октября, дата последнего заморозка – 25 апреля. Осадков выпало больше нормы: 117% от положенного за счет декабря, получившего осадков более двухмесячных норм, что компенсировало сухие февраль (76% от положенного) и особенно январь – 54% от нормы. Устойчивый снежный покров сохранялся с 16 ноября по 26 марта, максимальная высота составила 42 см. Начало весны 2023 г. незначительно отличалось от климатической нормы, средняя температура марта составила 1,3°С[2].

Подземные части растений промывали. Отделение покровных чешуй для обнажения конуса нарастания производили на предметном стекле с использованием препаровальных игл, скальпеля и стереоскопического микроскопа МСП-2 ВАРИАНТ 2. Органогенез генеративных почек описан по методике Ф.М. Куперман[1].

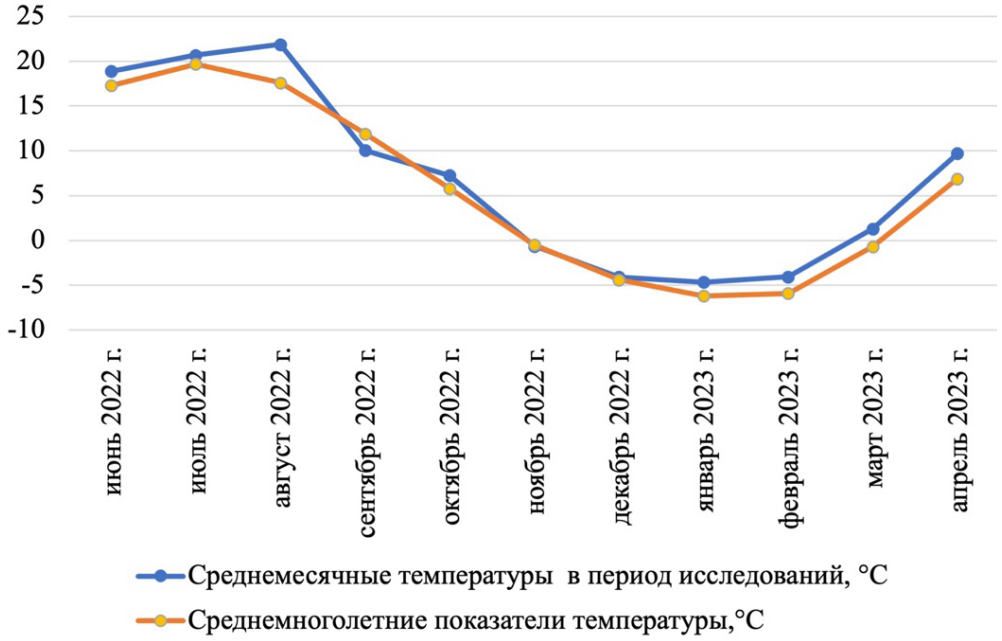


Рис. 1. Сравнение средних показателей температуры воздуха в г. Москве в период исследований со среднемноголетними показателями, °С

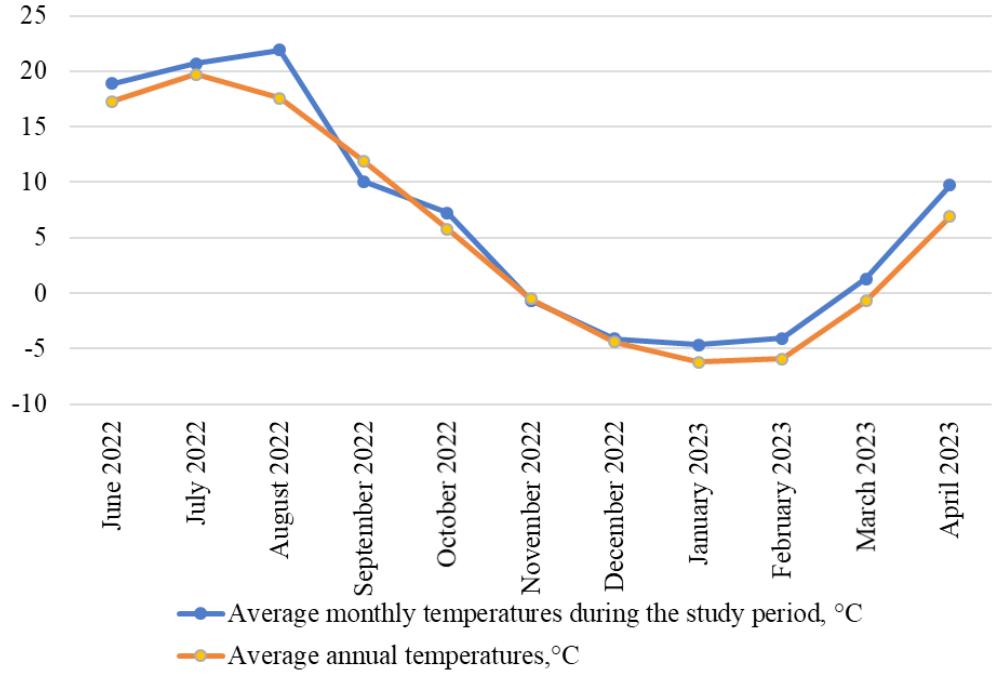


Fig. 1. Comparison of average air temperatures in Moscow during the study period with average annual temperatures, °C

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

В полевой коллекции весной последовательно начинали отрастать виды *G. sylvaticum, G. phaeum,* с ареалами в умеренной Евразии и Европе соответственно, почти в эти же сроки – *G. macrorrhizum* с ареалом в субальпийской поясе Альп, Балкан, Карпат, чуть позже – *G.* x *oxonianum* 'Wargrave Pink' с ареалами родительских форм (*G. endressii* J. Gay x *G. versicolor* L.) в южной Европе. Данные начала отрастания видов гераней приведены в таблице 1.

Наблюдается увеличение суммы положительных температур, необходимой для начала отрастания побегов у *G.* x *oxonianum* 'Wargrave Pink' с более южными ареалами родительских видов. Несмотря на более южное происхождение *G. macrorrhizum* по сравнению с видами умеренной зоны Евразии *G. sylvaticum* и *G. phaeum,* отрастание растений этих трех видов происходило почти одновременно, так как *G. macrorrhizum* обитает в естественных условиях в высокогорье с более низкими температурами воздуха и почвенного субстрата относительно подножий гор.

Осмотр корневищ показал, что зимовка была благоприятной для изученных видов и сортов гераней: снежный покров установился на 10 дней раньше среднемноголетних данных. Почки с признаками подмерзания не обнаружены. Подземная часть гераней представлена симподиальной системой эпигеогенных корневищ, все участки которой имеют многочисленные придаточные корни, что согласно выводам Н.С. Сугоркиной[3] свидетельствует о средневозрастном онтогенетическом состоянии растений (рис. 2). У всех четырех образцов формирующиеся побеги возобновления были ортотропными, корневища – плагиотропными.

Таблица 1

Данные начала отрастания видов гераней, 2023 г.

Вид, сорт	Сроки начала отрастания	Сумма положительных температур к началу отрастания, °С
G. sylvaticum	3.04.2023	97,4
G. phaeum	3.04.2023	97,4
G. macrorrhizum	5.04.2023	114,5
G. × *oxonianum* 'Wargrave Pink'	10.04.2023	155, 4

Table 1

Data on the beginning of regrowth of geranium species, 2023

Species	Dates of the beginning of regrowth	Sum of positive temperatures at the beginning of regrowth
G. sylvaticum	3.04.2023	97.4
G. phaeum	3.04.2023	97.4
G. macrorrhizum	5.04.2023	114.5
G. × *oxonianum* 'Wargrave Pink'	10.04.2023	155.4

[3] Сугоркина Н.С. Онтогенез и особенности популяционной биологии видов рода герань: Автореф. дис. … канд. биол. наук / Московский государственный педагогический институт им. В.И. Ленина. Москва, 1989. 16 с.

У короткокорневищного вида *G. sylvaticum* верхушечный дициклический генеративный побег более продвинут в развитии по сравнению с боковыми (11 шт.), верхушечная вегетативно-генеративная почка на момент рассмотрения сформирована – 4 этап (12 частей), включает в себя 5 сформированных соцветий, цветок дифференцирован (10 тычинок + песник) и 8-9 недифференцированных бутонов. На боковых дициклических побегах из пазушных почек образованы слабо развитые вегетативные побеги 2 порядка (4 шт). По данным литературы установлено, что в почках возобновления розеточных побегов к концу лета уже сформировано соцветие включая отдельные цветки[4]. Почки укороченных побегов – зимующие, имеют емкость 6-7 узлов + соцветие.

У короткокорневищного *G. phaeum* на верхушечном дициклическом побеге вегетативно-генеративная почка сформирована – 4 этап, включает в себя 26 элементов, 2 соцветия с цветками (2 + 2 + 2), с выраженными тычинками и пестиками. На боковых побегах (23 шт., короткие, 2-3 см) отмечены вегетативные почки и листья разной степени развития, а также верхушечные генеративные почки (28 элементов + 2 соцветия, в которых бутоны выражены слабо, около 10 шт.).

Ранее *G. macrorrhizum* был выделен нами как длиннокорневищный вид [6, 7], имеет утолщенное корневище длиной 18 см, диаметром 2-3 см, с крупными дициклическими побегами (11 шт.), несущие листья и вегетативно-генеративные почки 4 этапа (11 элементов + дифференцированный конус нарастания с 5-6 бугорками). Менее развитые вегетативные побеги первого года (7 шт.), с листьями. Верхушечный побег наиболее продвинут в развитии, вегетативно-генеративная почка которого содержит 10 листьев + 6 зачаточных, соцветие (9 элементов) состоит из 2 частей цимозного типа и 4 дифференцированных бутонов, околоцветник сформирован, тычинки и пестики не дифференцированы (рис. 3).

Длина корневища *G.* x *oxonianum* ‘Wargrave Pink’ составила 15 см, верхушечный побег не выражен, побеги 2 порядка разной степени развития (20 шт). Выделяются более продвинутые (10 шт.) ветвящиеся дициклические побеги с вегетативно-генеративными (22 элемента) почками на многочисленных вершинах. Вегетативно-генеративные почки 3 этапа, дифференциация слабая (20 элементов + конус нарастания с 10-12 бугорками). Боковые одревесневшие побеги 2 порядка (6 шт.) с листьями, пазушными почками и слабыми побегами 3 порядка. Отмечены также вегетативные побеги первого года – 4 шт.

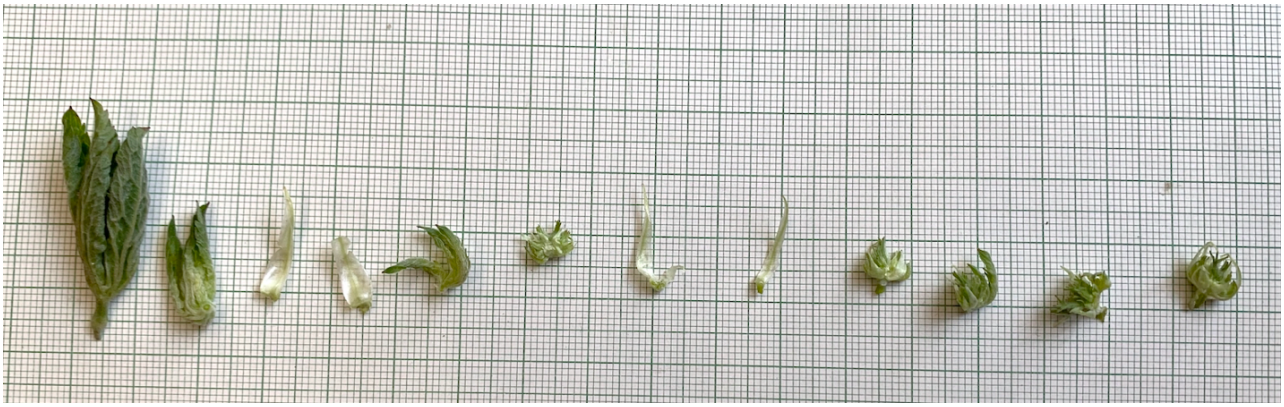
По результатам исследований выявлена закономерная взаимосвязь этапов органогенеза почек возобновления к началу отрастания и сроков цветения у рассмотренных видов (табл. 2). Так, у *G.* x *oxonianum* ‘Wargrave Pink’ с наиболее поздним периодом цветения почки возобновления к началу отрастания побегов оказались наименее продвинутыми в развитии по сравнению с почками у видов *G. sylvaticum, G. phaeum G. macrorrhizum* с более ранними сроками цветения.

Морфологические параметры вегетативно-генеративных почек, полученные в октябре 2022 г., также коррелируют с результатами оценки их состояния после зимовки в апреле 2023 г., однако для достоверных выводов о взаимосвязи необходимо дальнейшее изучение.

Рис. 2. Базальная часть побегов *G. sylvaticum* в начале отрастания с придаточными корнями
Fig. 2. Basal part of the shoots *G. sylvaticum* at the beginning of regrowth

[4] Серебряков И.Г. *Экологическая морфология растений*: *Жизненные формы покрытосеменных и хвойных*: Учебное пособие. Москва: Высшая школа, 1962. 378 с.

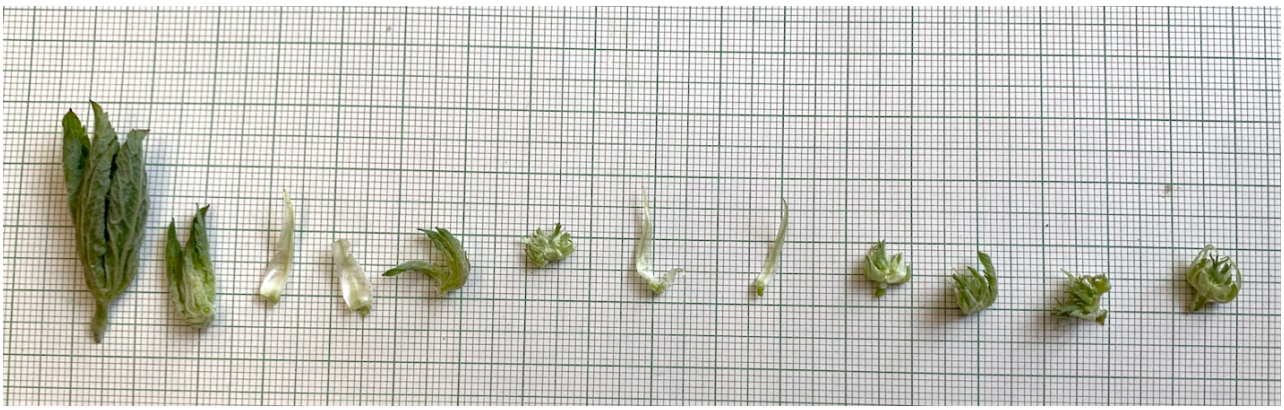
а



б

Рис. 3. Листовые ряды вегетативно-генеративных почек у некоторых видов гераней:
а – G. Macrorrhizum; б – *G. Sylvaticum* (дата снимка – 15 апреля 2023 г.)

a



b

Fig. 3. Leaf rows of vegetative-generative buds in some types of geraniums:
a – G. macrorrhizum, b – G. sylvaticum (photo date – April 15, 2023)

Таблица 2

Параметры вегетативно-генеративных почек гераней

Образец	Сроки цветения	Число зачаточных элементов вегетативно-генеративной почки, 2023 г.	Диаметр вегетативно-генеративной почки, 2022 г.	Диаметр вегетативно-генеративной почки, 2023 г.	Этап развития почки
G. sylvaticum	17 мая – 3 июня	12	7,5 мм	11,4 мм	4
G. phaeum	21 мая – 10 июля	26	8,7 мм	17,5 мм	4
G. macrorrhizum	1 июня – 20 июня	11	5,3 мм	10,3 мм	4
G. × *oxonianum* ‘Wargrave Pink’	11-18 июня –25-30 июля	20	4,7 мм	8,1 мм	3

Table 2

Parameters of vegetative-generative buds of geraniums

Sample	Flowering time	Number of rudimentary elements of the vegetative-generative bud, 2023	Diameter of vegetative-generative bud, 2022	Diameter of vegetative-generative bud, 2023	Stage of bud development
G. sylvaticum	May 17– June 3	12	7.5 mm	11.4 mm	4
G. phaeum	May 21– July 10	26	8.7 mm	17.5 mm	4
G. macrorrhizum	June 1– June 20	11	5.3 mm	10.3 mm	4
G. × *oxonianum* ‘Wargrave Pink’	June 11-18–July 25-30	20	4.7 mm	8.1 mm	3

Выводы
Conclusions

В результате проведенных исследований выявлены особенности морфогенеза генеративных органов некоторых видов *Geranium* до начала весеннего отрастания на дерново-подзолистых почвах в условиях Центрального Нечерноземья. Установлена связь между происхождением изученных видов и суммой положительных температур к началу их отрастания в условиях г. Москвы. Выявлена взаимосвязь этапов органогенеза почек возобновления к началу отрастания и сроков цветения. У *G.* x *oxonianum* ‘Wargrave Pink’ с наиболее поздним периодом цветения почки возобновления к началу отрастания побегов оказались наименее продвинутыми в развитии по сравнению с почками у видов *G. sylvaticum, G. phaeum G. macrorrhizum* с более ранними сроками цветения.

Исходя из морфологических данных состояния генеративных почек некоторых видов декоративных гераней перед уходом в зиму и их морфометрических параметров генеративных побегов в весенний период, можно спрогнозировать развитие монокарпических побегов в следующий вегетационный период. Изучение биологии развития генеративных почек позволяет охарактеризовать сезонные ритмы роста и развития растений.

Список источников

1. Сорокопудова О.А., Корякина О.В. Мировой ассортимент морозостойких гераней (*Geranium* L.) // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2021. № 141. С. 99-106. https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-141-99-106

2. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 1 // *RHS Plant Trials and Awards*. 2005. Bul. № 10. 16 p.

3. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 2 // *RHS Plant Trials and Awards*. 2006. № 14. 16 p.

4. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 3 and Geraniums Suitable for Rock Gardens // *RHS Plant Trials and Awards*. 2007. Bul. № 18. 20 p.

5. Трошкина В.И. Конспект видов рода *Geranium* (*Geraniaceae*) Алтайской горной страны // *Растительный мир Азиатской России*. 2019. № 3 (35). С. 13-28. https://doi.org/10.21782/RMAR1995-2449-2019-3

6. Корякина О.В., Сорокопудова О.А., Пупавцева А.Н. Некоторые аспекты вегетативного размножения многолетних декоративных гераней // *Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова*. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 306-311. EDN: DTMJLP

7. Чудецкий А.И., Макаров С.С., Родин С.А. *Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала брусники и красники in vitro и ex vitro.* Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2022. 20 с. EDN: LUQKJT

References

1. Sorokopudova O.A., Koryakina O.V. World assortment of frost-resistant geraniums (*Geranium* L.). *Byulleten gosudarstvennogo nikitskogo botanicheskogo sada.* 2021141):99-106. (In Russ.) https://doi.org/10.36305/0513-1634-2021-141-99-106

2. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 1. *RHS Plant Trials and Awards*. 2005;10:16.

3. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 2. *RHS Plant Trials and Awards*. 2006;14:16.

4. Armitage J. Hardy Geraniums – Stage 3 and Geraniums Suitable for Rock Gardens. *RHS Plant Trials and Awards*. 2007;18:20.

5. Troshkina V.I. The synopsys of the genus Geranium (Geraniaceae) of the Altai mountain country. *Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii.* 3;35:13-28 (In Russ.) https://doi.org/10.21782/RMAR1995-2449-2019-3

6. Koryakina O.V., Sorokopudova O.A., Pupavtseva A.N. Some aspects of vegetative propagation of perennial ornamental geraniums. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 135-letiyu so dnya rozhdeniya A.N. Kostyakova. June 06-08, 2022.* Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022;306-311. (In Russ.)

7. Chudetskiy A.I., Makarov S.S., Rodin S.A. *Guidelines for growing lingonberry and redberry planting material in vitro and ex vitro.* Pushkino, Russia: All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, 2022;20.

Информация об авторах

Ольга Вячеславовна Корякина, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; e-mail: okoryakina@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-6890-4562

Алена Павловна Демидова, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; e-mail: a.demidova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-2522-2470

Сергей Сергеевич Макаров, доктор с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-0564-8888

Information about the authors

Olga V. Koryakina, Assistant at the Department of Landscape Design, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: okoryakina@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-6890-4562

Alena P. Demidova, Assistant at the Department of Landscape Design, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: a.demidova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2522-2470

Sergey S. Makarov, DSc (Agr), Head of the Department of Landscape Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-0564-8888

Статья поступила в редакцию 29.07.2024
Одобрена после рецензирования 20.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

The article was submitted to the editorial office July 29, 2024
Approved after reviewing August 20, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Оригинальная научная статья
УДК 633.31:577.114:004.8
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-14-24

Оценка уровня растворимых углеводов в люцерне и применение технологий искусственного интеллекта

Хатима Каримовна Худякова[1], Елена Викторовна Худякова[2], Марина Николаевна Степанцевич[2]

[1] Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, Московская область, Россия
[2] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Викторовна Худякова, evhudyakova@rgau-msha.ru

Аннотация
Целью исследований является оценка уровня растворимых в нейтральном детергенте углеводов люцерны (Medicago varia Mart.) при возделывании ее в условиях Центрального Нечерноземья на дерново-подзолистой почве, а также обзор новых методов (искусственные нейронные сети) в решении данного вопроса. Содержание нейтрального детергента углеводов определяли по формуле: 100 – сырой протеин – нейтрально-детергентная клетчатка – сырая зола – сырой жир. Используя данные о содержании компонентов формулы, определяли уровни нейтрального детергента углеводов у четырех сортов люцерны в следующие фазы роста: ветвление, начало бутонизации, бутонизация и цветение. Концентрация нейтрального детергента углеводов уменьшалась по мере созревания растений и составила (% на сухое вещество в среднем для всех сортов): в ветвлении – 39,4; в начале бутонизации – 35,5; в бутонизации – 32,7; в цветении – 26,6 соответственно. В более прохладных и влажных условиях вегетации отмечается меньшее содержание сырого протеина и НДК, в связи с чем уровень нейтрального детергента углеводов был выше и составил 36,1% в фазу бутонизации. Существует тесная отрицательная корреляция между нейтральным детергентом углеводов и содержанием суммы нейтрально-детергентная клетчатка + сырой протеин и одной нейтрально-детергентной клетчатки. Коэффициенты корреляции составили 0,96 и 0,90 соответственно. Из составных частей нейтрального детергента углеводов определяли уровни неструктурных углеводов и их долю. Оба эти показателя снижались по мере вегетации растений. Методы определения протеина, клетчатки и сырой золы могут быть основаны на применении инфракрасных анализаторов. При этом важно построить адекватные калибровочные модели, которые носят нелинейный характер. К передовым методам построения калибровочных моделей можно отнести методы искусственного интеллекта, а именно искусственные нейронные сети. Такая методология может быть использована, например, для рекомендации оптимального периода проведения укоса трав.

Ключевые слова
углеводы, растворимые в нейтральном детергенте, сырой протеин, нейтрально-детергентная клетчатка, фазы вегетации, неструктурные углеводы, искусственные нейронные сети

Для цитирования:
Худякова Х.К., Худякова Е.В., Степанцевич М.Н. Оценка уровня растворимых углеводов в люцерне и применение технологий искусственного интеллекта // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 14-24. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-14-24

PLANT PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-14-24

Assessment of soluble carbohydrate levels in alfalfa and application of artificial intelligence technologies

Hatima K. Khudyakova, Elena V. Khudyakova, Marina N. Stepantsevich

[1] Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow region, Russia
[2] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agriculture Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Elena V. Khudyakova; evhudyakova@rgau-msha.ru

Abstract
The aim of this study is to assess the level of neutral detergent soluble carbohydrates of alfalfa (Medicago varia Mart.) when it is cultivated in the Central Non-Chernozem region on soddy-podzolic soil, as well as to review new methods (artificial

neural networks) in solving this issue. The content of neutral detergent soluble carbohydrates (NDSC) was determined by the formula: 100 – crude protein (CP) – neutral detergent fiber (NDF) – crude ash (CA) – crude fat (CF). Data on the content of the components of the formula were used to determine levels of NDSC in four alfalfa varieties at the following growth phases: branching, beginning of budding, budding and flowering. Concentrations of NDSC decreased as the plants matured and were (% per dry matter on average for all varieties): at branching – 39.4, at the beginning of budding – 35.5, at budding – 32.7, and at flowering – 26.6. In cooler and more humid conditions of vegetation, the content of CP and NDF was lower, and therefore the level of NDSC was higher and amounted to 36.1% in the budding phase. There is a strong negative correlation between NDSC and the contents of the sum of NDF + CP and NDF alone. The correlation coefficients were 0.96 and 0.90, respectively. Among the components of neutral detergent carbohydrates, the content of non-structural carbohydrates and their proportion were determined. Both indicators decreased with the growth of the plants. Methods for the determination of protein, fiber and crude ash can be based on the use of infrared analyzers. It is important to build appropriate calibration models that are non-linear in nature. Advanced methods for building calibration models include artificial intelligence methods, namely artificial neural networks. Such a methodology can be used, for example, to recommend the optimal period of grass cutting.

Keywords
neutral detergent soluble carbohydrates, crude protein, neutral detergent fiber, vegetative phases, non-structural carbohydrates, artificial neural networks

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Khudyakova H.K., Khudyakova E.V., Stepantsevich M.N. Assessment of soluble carbohydrate levels in alfalfa and application of artificial intelligence technologies. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):14-24. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-14-24

Введение
Introduction

Люцерна является ценной кормовой культурой в связи не только с высоким содержанием протеина, минеральных веществ, витаминов и др., но и с особенностями углеводных фракций, которые ее выделяют из других кормовых трав. Она характеризуется высоким содержанием углеводов, растворимых в нейтральном детергенте (НДРУ). Эту фракцию стали определять и изучать ее роль в питании животных после внедрения в практику оценки качества кормов схемы анализа по Ван-Соесту, одним из основных элементов которой является нейтрально-детергентная клетчатка. Нейтральный детергент делит корм на две фракции: содержимое клетки и клеточные стенки, состоящие в основном из структурных полисахаридов и лигнина. Неструктурные углеводы (НСУ), к которым относятся сахар и крахмал, входят в содержимое клетки. Количество НСУдля многих кормов не является равным углеводам, удаляемым при обработке пробы раствором нейтрального детергента, так как в нейтральном детергенте, кроме НСУ, растворяются фруктаны и некоторые соединения, содержащиеся в клеточной стенке: пектины, галактаны, β-глюканы. Сумму этих соединений называют клетчаткой, растворимой в нейтральном детергенте (НДРК). Таким образом, фракция углеводов, растворимых в нейтральном детергенте (НДРУ), представляет сумму НСУ, НДРК и органические кислоты ОК (рис.). Эти термины являются невзаимозаменяемыми, хотя в литературе НДРУ иногда называют как НСУ [1].

Органические кислоты (ОК) не являются углеводами, но их включают в НДРУ для удобства классификации. К ним относятся кислоты, образующиеся при консервировании трав (уксусная, пропионовая, масляная и молочная). Органические кислоты содержатся также в свежей траве и сене (яблочная, малеиновая, лимонная, куиновая и др.). В траве люцерны, например, их может быть от 4 до 15% в сухом веществе [2]. Эти кислоты обусловливают буферную емкость травы.

Так же, как и БЭВ в схеме оценки кормов по Веенде, НДРУ представляет остаток сухого вещества корма за вычетом суммы сырых питательных веществ, где вместо сырой клетчатки используется нейтрально-детергентная клетчатка. Их можно назвать БЭВ по Ван-Соесту, и они определяются по формуле:

$$НДРУ = 100-(СП + СЖ + СЗ + НДК), \quad (1)$$

где СП, СЖ, СЗ, НДК – содержание сырого протеина, сырого жира, сырой золы и нейтрально-детергентной клетчатки, % в сухом веществе, соответственно. Но более правильным является уравнение (2), в котором устраняется двукратное вычитание СП, содержащегося в НДК:

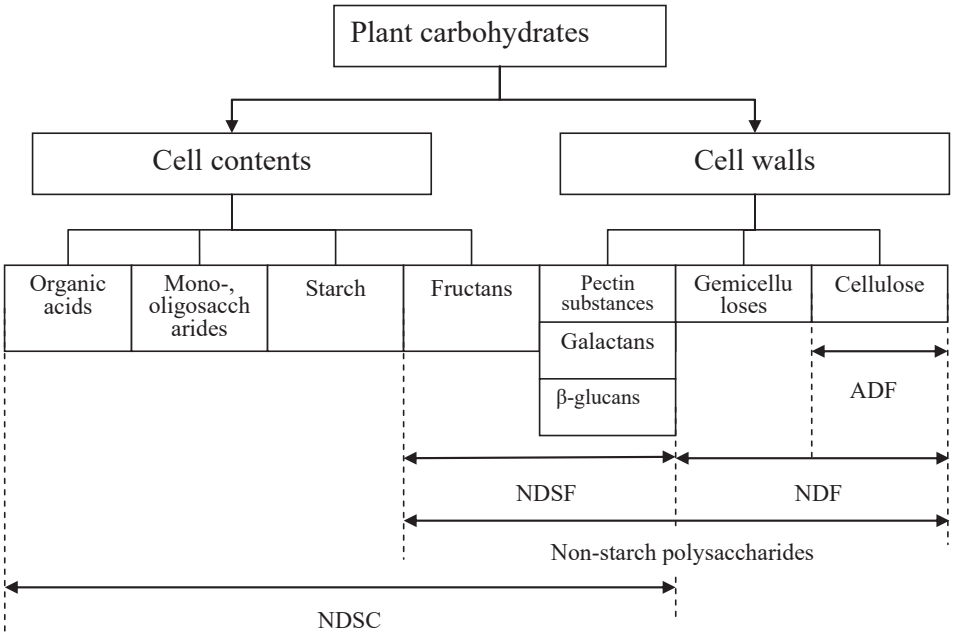
$$НДРУ = 100 – [(СП + СЖ + СЗ + (НДК – НДНП)]. \quad (2)$$

НДРК можно вычислить, соответственно, по формуле:

$$НДРК = НДРУ – (НСУ + ОК). \quad (3)$$

Примечание. КДК – кислотно-детергентная клетчатка; НДК – нейтрально-детергентная клетчатка; НДРК – клетчатка, растворимая в нейтральном детергенте; НД – углеводы, растворимые в нейтральном детергенте.

Рис. Фракции углеводов растений по M.B. Hall [3]



Note. ADF – acid detergent fibre; NDF – neutral detergent fibre; NDSF – neutral detergent soluble fibre; NDSC – neutral detergent soluble carbohydrates.

Fig. Fractions of plant carbohydrates by M.B. Hall [3]

Ошибки определения каждого из компонентов уравнения аккумулируются в получаемом по разнице результате, однако принят такой способ определения НДРУ при их нормировании в рационах кормления скота.

НДРУ являются ценной фракцией в кормлении коров, так как легкопереваримы, играют важную составляющую в энергетическом балансе животных и могут составлять до 45% сухого вещества в рационе коров. НДРУ нормируют в рационах, и их уровень связывают с содержанием НДК.

Среди кормовых трав люцерна характеризуется высоким содержанием НДРУ в пределах 30-40% в сухом веществе в зависимости от фазы роста и других факторов [4]. Часто корма из люцерны оценивают по содержанию составной части НДРУ-НДРК, которую называют растворимой клетчаткой. Высокий уровень НДРК люцерны связан с содержанием в ней пектиновых веществ в пределах 5-10%, ценность которых заключается в том, что при их ферментации в рубце образуется более слабая по сравнению с молочной уксусная

кислота. Возможно, этим объясняется благоприятное действие добавления в рацион с высоким содержанием крахмала кормов, богатых пектиновыми веществами, в связи с их противодействием возникновению ацидоза у животных [5].

С целью определения составных частей НДРУ, различающихся по их значению в кормовом отношении, разработан метод их фракционирования. Метод позволяет выделить следующие фракции: 1) моно-, олигосахариды; 2) органические кислоты; 3) крахмал; 4) НДРК. Метод был упрощен для определения наиболее ценной фракции – НДРК [6], поскольку анализ по определению сахара и храхмала является общепринятым, при определении качества кормов. Однако метод определения НДРК сложен для применения при проведении рутинных анализов. Но при необходимости оценить большое количество образцов для селекционных целей предлагается использование метода ближней инфракрасной спектроскопии с применением соответствующих приборов. В этом случае калибровочные уравнения разрабатываются для определения НДРК.

Калибровочные уравнения могут разрабатываться с помощью различных методов. Это могут быть множественная линейная регрессия (MLR), метод частных наименьших квадратов **(**PLS), локальный метод, метод искусственных нейронных сетей (ANN) и метод регрессии Хонигса (HR).

Цель исследований: поскольку в данное время отсутствует характеристика сортов люцерны отечественной селекции по уровню НДРУ в условиях Нечерноземной зоны, с учетом значимости этой фракции углеводов в кормлении скота, целью исследований является оценка травы люцерны районированных сортов по уровню углеводов, растворимых в нейтральном детергенте, в зависимости от фазы вегетации растений и содержания в них сырого протеиа и НДК.

Методика исследований
Research methods

Объектом исследований являются образцы травы люцерны изменчивой пестрогибридного сортотипа селекции ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса следующих сортов: Луговая 67, Селена, Вега 87, Пастбищная 88. Пробы с первого укоса отбирали на делянках селекционного севооборота лаборатории селекции люцерны ВНИИ кормов: в 2015 г. – в фазу бутонизации, в 2021 г. – в фазу ветвления, начала бутонизации, бутонизации и цветения. Пробы всех сортов отбирались одновременно. На выбранной делянке по диагонали выделяли несколько площадок, с которых отбирали точечные пробы, которые затем перемешивали для получения объединенной пробы. Чтобы определить соотношение между листьями и стеблями, часть объединенной пробы разделяли на листья и стебли.

Годы исследований отличались между собой по температуре воздуха и количеству осадков в течение вегетации растений в первом укосе. Растения, отобранные в фазу бутонизации, формировались в основном в мае и в первой декаде июня, который в 2021 г. отличался от 2015 г. более высокой температурой воздуха при недостатке осадков.

Отобранные образцы листьев и стеблей сушили при температуре 60-65 °С в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией. Определяли их массу и вычисляли соотношение листьев и стеблей. Высушенные пробы размалывали до прохода через сито с отверстиями 1 мм и использовали их для анализов. Нейтрально-детергентную клетчатку определяли кипячением навески пробы в течение 1 ч в растворе нейтрального детергента, содержащего сернистокислый натрий, без применения термостабильной амилазы; сырой протеин (общий азот х 6,25) – по макро-Къельдалю, сырой жир – экстракцией диэтиловым эфиром методом обезжиренного остатка, сырую золу – озолением в муфельной печи при температуре 525 °С в течение 4 ч. Водорастворимые углеводы (ВРУ) экстрагировали водой при температуре 60 °С в течение 2 ч. В остатке определяли крахмал ферментативным методом. В эктрактах ВРУ и крахмала определяли их редуцирующую силу по методу Бертрана. Содержание НДРУ вычисляли по уравнению (1) в листьях и стеблях, а также в целом растении, используя данные соотношения между ними. В 2015 г. анализировали пробы целых растений.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Изучение состава сортов люцерны показало (табл. 1), что по мере вегетации растений люцерны всех сортов наблюдаются существенные изменения в содержании наиболее значимых по величине членов уравнения (1): снижение содержания сырого протеина и накопление структурных веществ.

При этом имеет место неравномерная скорость протекания этих процессов в течение роста растений. В среднем для всех сортов наблюдается значительное ежесуточное увеличение НДК между фазами ветвления и начала бутонизации, что связано с усиленным ростом стеблей за этот период и возрастанием их доли в сухом веществе (табл. 2). Во время развития цветочных органов от начала бутонизации до бутонизации несколько падает скорость снижения СП, но накопление НДК остается на том же уровне.

Значительное ухудшение качества травы происходит в период между бутонизацей и цветением в связи с резким возрастанием скорости накопления структурных веществ ввиду продолжающегося роста стеблей и повышения концентрации НДК

Таблица 1

Состав сортов люцерны в зависимости от фаз вегетации в 2021 г., % в с.в.

Сорт	Фазы вегетации							
	ветвление		начало бутонизациии		бутонизация		начало цветения	
	СП	НДК	СП	НДК	СП	НДК	СП	НДК
Пастбищная 88	24,50	24,87	21,00	35,41	18,88	40,08	13,95	46,90
Селена	24,78	24,16	22,43	30,73	19,90	36,42	15,12	47,04
Вега 87	25,39	26,14	18,81	33,83	17,92	38,41	14,61	45,81
Луговая 67	25,32	24,84	22,84	28,56	17,69	38,28	15,72	50,26
Среднее	25,00	24,57	21,27	32,13	18,60	38,30	14,85	47,50
Стандартная ошибка среднего	0,55	2,04	1,68	3,07	0,75	1,50	0,55	1,92

Table 1

Contents of CP and NDF in alfalfa varieties depending on the growth phases in 2021 (% in dry weight (in d.w.))

Variety	Growth phases							
	branching		beginning of budding		budding		beginning of flowering	
	CP	NDF	CP	NDF	CP	NDF	CP	NDF
Pastbishchnaya 88	24.50	24.87	21.00	35.41	18.88	40.08	13.95	46.90
Selena	4.78	24.16	22.43	30.73	19.90	36.42	15.12	47.04
Vega 87	25.39	26.14	18.81	33.83	17.92	38.41	14.61	45.81
Lugovaya 67	25.32	24.84	22.84	28.56	17.69	38.28	15.72	50.26
Average	25.00	24.57	21.27	32.13	18.60	38.30	14.85	47.50
Standard error of the average	0.55	2.04	1.68	3.07	0.75	1.50	0.55	1.92

Таблица 2

Доля листьев в сухом веществе, %

Сорт	Фазы вегетации			
	ветвление	начало бутонизациии	бутонизация	начало цветения
Пастбищная 88	60,5	52,5	46,0	41,9
Селена	62,9	51,2	47,5	42,9
Вега 87	56,2	44,2	44,9	41,4
Луговая 67	62,9	52,6	45,6	40,3

Table 2

Proportion of leaves in d.w., %

Variety	Growth phases			
	branching	beginning of budding	budding	beginning of flowering
Pastbishchnaya 88	60.5	52.5	46.0	41.9
Selena	62.9	51.2	47.5	42.9
Vega 87	56.2	44.2	44.9	41.4
Lugovaya 67	62.9	52.6	45.6	40.3

как в листьях, так и (особенно) в стеблях, то есть их одревеснения и лигнификации. В течение этого же времени также возрастает скорость снижения СП. Сорта несколько различались от общей картины по динамике изменения их состава по фазам вегетации. Так, у сорта Вега в отличие от других сортов имеет место резкое снижение СП от ветвления до начала бутонизации, так как в течение этого периода у данного сорта происходили усиленный рост стеблей и увеличение их доли в сухом веществе, в связи с чем наблюдалась высокая скорость накопления НДК. По-другому происходило развитие сорта Луговая: резкое снижение СП произошло позже, с одновременным усилением накопления структурных веществ, которое продолжалось до цветения. По-видимому, в связи с разными темпами роста и развития различных сортов не отмечено стабильных различий между ними по фазам в течение вегетации растений.

Используя уровни СП, НДК, СЗ и СЖ, по формуле (1) рассчитали содержание НДРУ в зависимости от фаз вегетации (табл. 3). Максимальный уровень НДРУ во всех сортах отмечен в фазе ветвления. По мере роста происходит его значительное снижение: в среднем по всем сортам от 39,44% в фазе ветвления до 26,64% в цветение. Однако по некоторым данным, не всегда по мере вегетации растений наблюдается снижение НДРУ. Так, в условиях Сербии содержание НДРУ оставалось на одном уровне (25%) независимо от фазы вегетации, при этом изучались сравнительно поздние фазы: полная бутонизация, начало цветения и полное цветение [7].

Снижение характерно для всех сортов, хотя в различной степени. Так, у сорта Вега в целом растении почти не изменилось содержание НДРУ от начала бутонизации до бутонизации, но оно было самым низким в фазе ветвления, когда этот сорт характеризовался боее высокой долей стеблей в отличие от других сортов.

Оценивая уровни НДРУ, полученные в условиях исследований, следует отметить, что они достаточно высокие. Так, НДРУ в фазе бутонизации в среднем по сортам превышает 30%, в то время как люцерновое сено, содержащее 31,5% НДРУ, считается «превосходным» [4]. Близкое к этому значение получено в условиях Чехии, где в траве люцерны в конце фазы бутонизации содержалось НДРУ 29,9% при НДК 37,8 и СП 17,7% соответственно [1]. При более высоком уровне НДК (52,1%) и более низком СП (15,1%) НДРУ составили лишь 22,2. По данным таблицы состава кормов по результатам анализов, проведенных в университете штата Флорида, в люцерновом сене найдено 31% НДРУ [6].

Таблица 3

Содержание углеводов, растворимых в нейтральном детергенте в сортах люцерны, в зависимости от фаз вегетации

Сорта	Фаза вегетации			
	ветвление	начало бутонизации	бутонизация	цветение
Пастбищная 88	39,58	32,89	29,97	29,73
Селена	40,92	36,14	32,84	27,22
Вега 87	37,62	36,06	35,83	28,54
Луговая 67	39,65	36,94	33,27	21,08
Среднее	39.44	35,51	32,73	26,64
Стандартная ошибка среднего	1,36	1,79	2,03	3,55

Table 3

Content of neutral detergent soluble carbohydrates in alfalfa varieties depending on the growth phases

Variety	Growth phase			
	branching	beginning of budding	budding	beginning of flowering
Pastbishchnaya 88	39.58	32.89	29.97	29.73
Selena	40.92	36.14	32.84	27.22
Vega 87	37.62	36.06	35.83	28.54
Lugovaya 67	39.65	36.94	33.27	21.08
Average	39.44	35.51	32.73	26.64
Standard error of the average	1.36	1.79	2.03	3.55

Изучение взаимосвязи уровня НДРУ и содержания наиболее значительных по величине членов уравнения (1) показало (табл. 4), что наиболее тесно НДРУ связаны с суммой СП и НДК, меньше – с СП. Изучение взаимосвязи между уровнем НДРУ и содержанием наиболее значительных по величине членов уравнения (1) показало (табл.) тесную связь с НДК, что связано с более высокой скоростью накопления НДК по мере роста растений, чем со снижением СП. Об отрицательной корреляции между НДРК и НДК сообщается и в другом исследовании [6].

Снижение НДРУ по мере вегетации растений связано с уменьшением доли листьев за этот период, так как в листьях содержание НДРУ выше, чем в стеблях, причем в них в отличие от стеблей отсутствует их значительное снижение по мере роста растений (табл. 5). Максимальное содержание НДРУ отмечено в фазу ветвления, когда по этому показателю листья и стебли отличалались незначительно – на 1,71%, а в фазу бутонизации эта разница достигла 9,25%. В литературе также отмечается, что в молодых листьях люцерны содержалось 41,1% НДРУ, а в стеблях зрелых растений – 22%, что является близким к полученным нами результатам.

Как отмечалось, НДРУ состоит из ОК, НСУ и НДРК. Из них нами определялись содержание НСУ в сухом веществе и их доля в НДРУ (табл. 6). Уровни НСУ в сухом веществе в среднем по всем сортам снижались по мере роста растений. В таком же порядке изменялась их доля в НДРУ, за исключением фазы цветения, когда у сорта Луговая в связи с повышенным накоплением НДК получено низкое содержание НДРУ, в то же время низкая концентрация НСУ.

Различия между сортами по уровню НСУ по фазам были нестабильными. Так, в раннюю фазу более высокой концентрацией отличался сорт Селена, в начале бутонизации и в цветении – Пастбищный 88, в бутонизацию – Вега 87. Доля НСУ в НДРУ в среднем по сортам колебалась от 25,6 до 30,5%. О доле других составных частей в НДРУ можно судить по данным литературы. Так, в сене из люцерны при уровне НДРУ 31% доли НСУ, ОК и НДРК в них составили 35,5; 19,4; 45,1% соответственно [6]. В молодых листьях люцерны эти показатели равнялись 32,3; 21,6; 46,1%, а в зрелых стеблях – 32,8; 22,9; 44,3%. Судя по этим данным, доля отдельных составных частей НДРУ остается приблизительно на одном уровне, при этом НДРК представляет собой наиболее значительную фракцию.

Для приготовления кормов (сена, силоса) рекомендуется использовать траву люцерны в фазу бутонизации. В связи с этим еще в 2015 г. проводилась оценка состава тех же сортов люцерны в эту фазу (табл. 7), что дало возможность сравнить данные за два года. Несмотря на то, что в среднем

Таблица 4

Уравнения взаимосвязи НДРУ с показателями состава люцерны

Уравнение	Параметры уравнений		
	n	r	s
$y = 89,91-1,01\ x_1$	16	0.96	1.03
$y = 53,68-0,56\ x_2$	16	0,90	1,72
$y = 11,79 + 1,10\ x_3$	16	0.71	2,86

*y – предсказуемое значение НДРУ, %; x_1 – сумма СП и НДК, %; x_2 – НДК, %; x_3 – СП, %; n – количество переменных; r – коэффициент корреляции; s – стандартная ошибка уравнения.

Table 4

Equations of the relationship of NDSC with alfalfa composition indicators

Equation	Parameters of equations		
	n	r	s
$y = 89.91-1.01\ x_1$	16	0.96	1.03
$y = 53.68-0.56\ x_2$	16	0.90	1.72
$y=11.79+ 1.10\ x_3$	16	0.71	2.86

Notes.* y – the predictable value of NDSC, %; x_1 – the sum of CP and NDF, %; x_2 – NDF, %; x_3 – CP, %; n – the number of variables; r – the correlation coefficient; s – the standard error of the equation.

Таблица 5

Содержание НДРУ в листьях и стеблях сортов люцерны, % в с.в.

Сорт	Фазы вегетации							
	Ветвление		Начало бутонизациии		Бутонизация		Начало цветения	
	листья	стебли	листья	стебли	листья	стебли	листья	стебли
Пастбищная 88	41,19	39,75	38,17	30,39	34,94	28,41	38,99	25,08
Селена	43,51	40,28	40,76	35,84	39,90	30,44	33,95	25,37
Вега 87	38,42	37,95	43,54	33,76	42,47	30,07	40,48	26,85
Луговая 67	42,5	40,77	37,83	35,79	39,08	30,49	30,19	19,11
Среднее	41,40	39,69	40,06	33,94	39,1	29,85	35,90	24,10
Стандартная ошибка среднего	2,20	1,23	2,62	2,56	3,09	0,98	4,97	3,42

Table 5

Contents of NDSC in leaves and stems of alfalfa varieties depending on the growth phases (% in d.w.)

Variety	Growth phase							
	branching		beginning of budding		budding		beginning of flowering	
	leaves	stems	leaves	stems	leaves	stems	leaves	stems
Pastbishchnaya 88	41.19	39.75	38.17	30.39	34.94	28.41	38.99	25.08
Selena	43.51	40.28	40.76	35.84	39.90	30.44	33.95	25.37
Vega 87	38.42	37.95	43.54	33.76	42.47	30.07	40.48	26.85
Lugovaya 67	42.5	40.77	37.83	35.79	39.08	30.49	30.19	19.11
Average	41.40	39.69	40.06	33.94	39.1	29.85	35.90	24.10
Standard error of the average	2.20	1.23	2.62	2.56	3.09	0.98	4.97	3.42

по сортам показатели содержания СП и НДК по годам близки между собой, все же следует отметить, что в 2021 г. содержание СП и НДК было несколько выше, чем 2015 г. Это, по-видимому, связано с особенностями погодных условий. По данным метеостанции, температура воздуха в мае 2021 г. была выше при недостатке влаги. В 2015 г. погода была более холодной, с избыточным увлажнением в мае. В условиях вегетации указанного года люцерна характеризуется более высоким уровнем НДРУ и НСУ: в среднем по сортам 36,08 и 12,08% соответственно. В 2021 г. эти показатели были несколько ниже: 32,85 и 8,43%, что связано с более высоким содержанием СП и НДК.

Описанный выше метод основывался на химическом анализе состава кормов. Однако в последнее время цифровые технологии все больше используются в анализе качества кормов. К таким методам можно отнести, например, использование приборов, основанных на определении состава и качества кормов методами NIRS-анализа, при котором используются компьютерная техника и соответствующее программное обеспечение. В определении формы листев, их массы и ее соотношения с массой растения могут использоваться технологии компьютерного зрения и технологии искусственных неронных сетей.

Калибровочные модели, как правило, носят нелинейный характер зависимости между спектрами и свойствами корма скота. Для разработки модели могут использоваться методы искусственных нейронных сетей (ANN), метод SVM, нелинейные PSL-модели либо локальная регрессия. При применении локальной регрессии общая модель строится на основе множества линейных моделей, для моделирования выбираются похожие образцы. Метод ANN способен строить адекватные модели при отсутствии линейных связей. Однако данный метод имеет такие минусы, как необходимость большого количества данных, длительное время для подбора весов. Поэтому здесь также может быть использован такой метод искусственного интеллекта, как

Таблица 6

Содержание НСУ в сухом веществе и их доля в НДРУ в различные фазы роста растений, %

Сорта	Фазы вегетации							
	ветвление		начало бутонизациии		бутонизация		начало цветения	
	% в с.в.	доля в НДРУ, %	% в с.в.	доля в НДРУ, %	% в с.в.	доля в НДРУ, %	% в с.в.	доля в НДРУ, %
Пастбищная 88	11,87	30,0	11,24	34,2	8,32	27,8	9,72	32,7
Селена	12,55	30,7	9,15	25,3	7,90	24,1	7,15	26,3
Вега 87	12,00	31,9	10,57	29,3	9,32	26,0	6,87	24,1
Луговая 67	11,88	29,4	9,34	25,3	8,10	24,3	7,84	37,2
Среднее	12,08	30,5	10,08	28,52	8,41	25,6	7,90	30,1
Стандартная ошибка среднего	0,38	1,07	1,00	4,22	0,63	1,73	1,28	5,99

Table 6

Contents of nonstructural carbon (NSC) in dry matter and their share in NDSC in various growth phases, %

Variety	Growth phase							
	branching		beginning of budding		budding		beginning of flowering	
	% in d.w.	share in NDSC, %	% in d.w.	share in NDSC, %	% in d.w.	share in NDSC, %	% in d.w.	share in NDSC, %
Pastbishchnaya 88	11.87	30.0	11.24	34.2	8.32	27.8	9.72	32.7
Selena	12.55	30.7	9.15	25.3	7.90	24.1	7.15	26.3
Vega 87	12.00	31.9	10.57	29.3	9.32	26.0	6.87	24.1
Lugovaya 67	11.88	29.4	9.34	25.3	8.10	24.3	7.84	37.2
Average	12.08	30.5	10.08	28.52	8.41	25.6	7.90	30.1
Standard error of the average	0.38	1.07	1.00	4.22	0.63	1.73	1.28	5.99

генетические алгоритмы (GA). Генетический алгоритм на первом этапе предполагает генерацию набора случайных решений; на втором этапе для каждого решения рассчитывается значение целевой функции; на третьем этапе выполняется процесс уточнения решений. На этом этапе решения для кроссовера выбираются с помощью оператора бинарного турнира по двум критериям: недоминируемая сортировка и расстояние краудинга. Алгоритм не останавливается в локальном оптимуме, применяя оператор мутации. Значения целевой функции рассчитываются еще раз после определения решений по переработке. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет удовлетворен один из критериев остановки [8].

Недавно разработаны методы неразрушающего контроля с использованием ближнего ИК-излучения в сочетании с машинным обучением (ML), которые применялись для оценки качества риса [9]. Машинное обучение можно использовать для моделирования таких прогнозных взаимосвязей на основе NIR-спектров; метод обычно используется с алгоритмами регрессии главных компонентов (PCR), машинной регрессии опорных векторов (SVR), частичной регрессии наименьших квадратов (PLSR) и алгоритмов искусственной нейронной сети (ANN). Использование в исследовании качества риса искусственных нейронных сетей (ИНС) в сочетании с БИК-спектрами сырого риса предоставили модель с высоким R = 0,94. Технология искусственного интеллекта может иметь практическую реализацию при оценке уровня растворимых углеводов в люцерне в зависимости от фазы вегетации. Так, она может быть использована для рекомендации оптимального периода проведения укоса трав. Такая задача может быть решена при параллельном использовании метода ближнего ИК-излучения также и технологии машинного обучения.

Таблица 7

Состав сортов люцерны в 2015 г., % в с.в.

Сорта	СП	НДК	СЖ	СЗ	НДРУ	НСУ	
						% в с.в.	доля в НДРУ%
Пастбищная 67	17,17	37,81	2,04	8,50	34,48	12,51	36,3
Селена	16,29	39,33	2,07	8,19	36,02	11,42	31,7
Вега 87	16,45	33,30	1,79	8,17	40,29	13,54	33,6
Луговая	18,27	36,09	2,39	9,74	33,51	10,84	32,4
Среднее	17,04	36,63	2,07	8,65	36,08	12,08	33,5
Стандартная ошибка среднего	0,90	2,59	0,25	0,74	3,01	1,20	2,02

Table 7

Composition of alfalfa varieties in 2015 (% in d.w.)

Variety	CP	NDF	CF	CA	NDSC	NSC	
						% in d.w.	share in NDSC, %
Pastbishchnaya 88	17.17	37.81	2.04	8.50	34.48	12.51	36.3
Selena	16.29	39.33	2.07	8.19	36.02	11.42	31.7
Vega 87	16.45	33.30	1.79	8.17	40.29	13.54	33.6
Lugovaya 67	18.27	36.09	2.39	9.74	33.51	10.84	32.4
Average	17.04	36.63	2.07	8.65	36.08	12.08	33.5
Standard error of the average	0.90	2.59	0.25	0.74	3.01	1.20	2.02

Выводы
Conclusions

Люцерна при возделывании ее в условиях Центрального Нечерноземья на дерново-подзолистой почве, в фазы использования для скармливания скоту и приготовления кормов характеризуется содержанием более 30% НДРУ в сухом веществе, состоящих на 1/4 или на 1/3 в зависимости от погодных условий из неструктурных углеводов. Максимальный уровень НДРУв среднем для сортов найден в фазу ветвления – 39,4% в сухом веществе, который снижался по мере роста растений до 26,6% в фазу цветения. Эти изменения связаны с уменьшением доли листьев и увеличением стеблей в сухом веществе. Листья отличаются более высоким уровнем НДРУ, чем стебли, который менее подвержен снижению по мере роста растений. Установлена отрицательная корреляция между содержанием НДРУ и суммой НДК + СП (r = 0.96) и одной НДК (r = 0,90).

Цифровая трансформация в настоящее время все шире охватывает химические науки. Наряду с технологиями интернета вещей для выявления химического состава кормов используются методы искусственного интеллекта, которые в сочетании с инфракрасной спектроскопией позволяют оперативно получать искомый результат.

Список источников

1. Homolka P., Koukolova V., Podsedniček M., Hlavačkova A. Nutritive value of red clover and lucerne forages for ruminants estimated by in vitro and in vivo digestibility methods. *Czech Jornal of Animal Science*. 2012; № 57(10):454-568. http://doi.org/10.17221/6346-CJAS

2. Rooke, John A. and Hatfield, Ronald D. Biochemistry of ensiling. P. 120. Электронный ресурс. Режим доступа: http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1399 (дата обращения: 01.08.2024)

References

1. Homolka P., Koukolova V., Podsedniček M., Hlavačkova A. Nutritive value of red clover and lucerne forages for ruminants estimated by in vitro and in vivo digestibility methods. *Czech Jornal of Animal Science*. 2012;57(10):454-568. http://doi.org/10.17221/6346-CJAS

2. Rooke John A., Hatfield Ronald D. *Biochemistry of Ensiling.* URL: http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1399 (accessed: August 01, 2024)

3. Hall M.B., Hoover W.H., Jennings J.P. and Miller Webster T.K. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *Jornal of the Science of Food and Agriculture*. 1999;79:2079-2086.

4. Villalba J.J., Ates S and MacAdam J.W. Non-fiber Carbohydrates in Forages and Their nfluence on Beef Production Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5:56633875. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.566338

5. Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *The Journal of Dairy Science*. 1991;74:3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

6 Mary Beth Hall. Working with Non-NDF Carbohydrates with Manure Evaluation and Environmental Considerations. URL: https://www.txanc.org/Proceedings/2002/Non-NDF-Carbohydrates.pdf (дата обращения: 01.08.2024)

7. Marković J., Babić S., Terzić D., Zornić V. et al. Carbohydrate content of alfalfa harvest at different development stage in the spring growth. *11th International Symposium 'Modern Trends in Livestock Production'. October 11-13, 2017*. Belgrade, Serbia, 2019:706-712.

8. Gu Y., Wu J., Guo Y., Hu S. et al. Grade Classification of Camellia Seed Oil Based on Hyperspectral Imaging Technology. *Foods*. 2024;13(20):3331. https://doi.org/10.3390/foods13203331

9. Kaewsorn K., Phanomsophon T., Maichoon P., Pokhrel D.R. et al. Modeling Textural Properties of Cooked Germinated Brown Rice Using the near-Infrared Spectra of Whole Grain. *Foods.* 2023;12(24):4516. https://doi.org/10.3390/foods12244516

3. Hall M.B., Hoover W.H., Jennings J.P. and Miller Webster T.K. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *Jornal of the Science of Food and Agriculture*. 1999;79:2079-2086.

4. Villalba J.J., Ates S and MacAdam J.W. Non-fiber Carbohydrates in Forages and Their nfluence on Beef Production Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5:56633875. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.566338

5. Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *The Journal of Dairy Science*. 1991;74:3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

6. Mary Beth Hall. Working with Non-NDF Carbohydrates with Manure Evaluation and Environmental Considerations. URL: https://www.txanc.org/Proceedings/2002/Non-NDF-Carbohydrates.pdf (accessed: August 01, 2024)

7. Marković J., Babić S., Terzić D., Zornić V. et al. Carbohydrate content of alfalfa harvest at different development stage in the spring growth. *11th International Symposium 'Modern Trends in Livestock Production'. October 11-13, 2017*. Belgrade, Serbia, 2019:706-712.

8. Gu Y., Wu J., Guo Y., Hu S. et al. Grade Classification of Camellia Seed Oil Based on Hyperspectral Imaging Technology. *Foods*. 2024;13(20):3331. https://doi.org/10.3390/foods13203331

9. Kaewsorn K., Phanomsophon T., Maichoon P., Pokhrel D.R. et al. Modeling Textural Properties of Cooked Germinated Brown Rice Using the near-Infrared Spectra of Whole Grain. *Foods.* 2023;12(24):4516. https://doi.org/10.3390/foods12244516

Сведения об авторах

Хатима Каримовна Худякова, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса; 141055, Московская область, г. Лобня, Научный городок, корпус 1; e-mail: hatima40@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2738-3438

Елена Викторовна Худякова, профессор кафедры прикладной информатики, доктор экономических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: evhudyakova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7875-074X

Марина Николаевна Степанцевич, доцент кафедры прикладной информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: stepantsevich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-7125-3027

Статья поступила в редакцию 29.08.2024
Одобрена после рецензирования 20.09.2024
Принята к публикации 30.09.2024

Information about the authors

Hatima K. Khudyakova, CSc (Ag), Leading Research Associate, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (building 1, Nauchniy Cp., Lobnya, Timiryazevskaya St., Moscow region, 141055, Russian Federation); e-mail: hatima40@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2738-3438

Elena V. Khudyakova, DSc (Econ), Professor, Professor at the Department of Applied Information Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: evhudyakova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7875-074X

Marina N. Stepantsevich, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: stepantsevich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-7125-3027

The article was submitted to the editorial office August 29, 2024
Approved after reviewing September 20, 2024
Accepted for publication September 30, 2024

BOTANY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-25-32

Morphological and anatomical study of the fruits of four species of *Stachyurus* Siebold et Zucc. (Stachyuraceae)

Sergei Yu. Zolkin

Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: Sergei Yu. Zolkin; szolkin@mail.ru

Abstract
The genus *Stachyurus* Siebold et Zucc. has always been considered as the only genus in the Stachyuraceae, but the systematic position of this family is complicated, since it has been included in various orders of flowering plants by vegetative and generative features. A thorough study of the fruits of representatives of the genus *Stachyurus* has not yet been undertaken. This work presents the results of a morphological and anatomical study of the fruits of four species of the genus *Stachyurus*. Morphological and anatomical studies of the fruits of representatives of the genus *Stachyurus* Siebold et Zucc. from the monotypic family Stachyuraceae are carried out. The fruits are considered as many-seeded 4- false-loculed paracarpous berries. A peculiarity of the fruit anatomy of the studied species *Stachyurus* is the lack of differentiation of the mesocarp. It is composed of layers of similar parenchymatous isodiametric cells with a row of vascular bundles in the center. The exocarp and endocarp are monolayers composed of parenchymatous rectangular cells elongated in a tangential direction. Separate mechanical tissues and various inclusions (resins, gums, etc.) were not found. Stachyurus species differ in the features of fruit surface micromorphology: type of surface ultrastructure, presence of pore-like areas in the cuticle, presence and shape of epicuticular wax. The identified carpological features of *Stachyurus* along with other diagnostic features can be taken into account in further systematic and phylogenetic studies of Stachyuraceae.

Key words
Stachyurus, Stachyuraceae, fruit, morphology, pericarp, anatomy, surface ultractructure, species

Acknowledgements
The author would like to express his gratitude to N.S. Petrunina for her help in preparing the illustrations. The author is grateful to M.S. Romanov for his critical comments. The research was supported by the state assignment of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences ‘Reproductive biology, comparative morphology and structural evolution in key groups of seed plants’ (No. 123120600006-9) at the Unique Scientific Installation ‘Fund Greenhouse’.

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Zolkin S. Yu. Morphological and anatomical study of the fruits of four species of *Stachyurus* Siebold et Zucc. (Stachyuraceae). *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(3):25-32. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-25-32

БОТАНИКА

Оригинальная научная статья
УДК 581.47:581.82
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-25-32

Морфолого-анатомическое исследование плодов четырех видов *Stachyurus* Siebold et Zucc. (Stachyuraceae)

Сергей Юрьевич Золкин

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Золкин Сергей Юрьевич; szolkin@mail.ru

Аннотация
В семейство Stachyuraceae всегда относили один род – *Stachyurus* Siebold et Zucc., но сложным является систематическое положение этого семейства, поскольку его по вегетативным и генеративным признакам включали

в самые различные порядки цветковых растений. Тщательного изучения плодов представителей рода *Stachyurus* еще не проводилось. В данной работе представлены результаты морфологического и анатомического исследования плодов четырех видов рода *Stachyurus*. Проведены морфолого-анатомические исследования плодов представителей рода *Stachyurus* Siebold et Zucc. из монотипного семейства Stachyuraceae. Плоды представляют собой многосеменные 4-камерные (то есть ложно-гнездные) паракарпные ягоды. Отличительной особенностью анатомии плодов изученных видов *Stachyurus* является недифференцированность мезокарпия. Он представлен слоями однотипных паренхимных изодиаметрических клеток с одним рядом проводящих пучков в центре. Экзокарпий и эндокарпий – однослойные, представленные паренхимными прямоугольными клетками, вытянутыми в тангентальном направлении. Отдельные механические ткани и различные включения (смолы, гумми и т.д.) не обнаружены. Виды *Stachyurus* отличаются по признакам микроморфологии поверхности плодов: типу ультраструктуры поверхности, наличию поровидных участков в кутикуле, наличию и форме эпикутикулярного воска. Выявленные карпологические особенности *Stachyurus* наряду с другими диагностическими признаками могут быть приняты во внимание при дальнейших систематических и филогенетических исследованиях Stachyuraceae.

Ключевые слова
Stachyurus, Stachyuraceae, плод, морфология, перикарпий, анатомия, ультраструктура поверхности, вид

Благодарности
Автор выражает благодарность Н.С. Петруниной за помощь в подготовке иллюстраций. Автор признателен М.С. Романову за критические замечания. Исследования выполнены при поддержке государственного задания Главного ботанического сада РАН «Репродуктивная биология, сравнительная морфология и структурная эволюция в ключевых группах семенных растений» (№ 123120600006-9) на уникальной научной установке «Фонд Оранжерея».

Для цитирования
Золкин С.Ю. Морфолого-анатомические исследования плодов четырех видов Stachyurus Siebold et Zucc. (Stachyuraceae) // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 25-32. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-25-32

Introduction
Введение

The monotypic family Stachyuraceae was described by J.C. Agardh in 1858. The genus *Stachyurus* Siebold et Zucc. currently contains 10 species [1, 2]. Only one species grows in Japan (*S. praecox* Siebold et Zucc.). The remaining nine species are widespread-in China, mainly in the southern and eastern regions of this country, and in neighboring countries. The family Stachyuraceae is thought to have originated in the ancient Sikang-Yunnan Plateau, from where it spread westward to Burma, India (Assam), Nepal and Bhutan, and eastward through southwest and southern China to Taiwan and Japan[1].

Almost all Stachyuraceae are evergreen or deciduous shrubs, sometimes climbing, only S. himalaicus is a small tree up to 10 meters in height. Leaves are simple, alternate, serrate to serrulate, with pinnate venation; stipules are small, early caducous. Flowers are small, bisexual or functionally unisexual and then plants dioecious, actinomorphic, shortly pedicellate or sessile, 4-merous [3], collected in pendulous or erect axillary racemes or spikes[2]. Anthers versatile, introrse, opening throughlongitudinal slits. Pollen grains are 3-colporate [4]. Gynoecium with four carpels, they are congenitally united at the base, free only at the top, with short style, stigma large, capitate, the four free carpel tips are postgenitally united and form a single stigmatic surface [4]. The superior, syncarpous ovary is 4-locular and with axile placentation in the lower part (the synascidate zone), but in the middle and upper parts (the symplicate zone) the partitions (the four septa) are incomplete and the ovules are borne on deeply intruded placentas [4, 5]. The ovules are numerous, arranged in two alternating rows in each carpel, bitegmic, crassinucellate [5], anatropous and syntropous[3]. Fruit berry-like[4][5],, with leathery pericarp and deciduous calyx [3]. Fruit anatomy has not been studied. Seeds numerous, arillate, with small, straight embryo[6], with copious, fleshy, oily and proteinaceous endosperm and short [3, 5], fleshy funicle, 2n = 24 [4].

[1] Chen S.K. A study on the Stachyuraceae from China. *Acta Bot. Yunnan*. 1981;2:125-137.

[2] Singh G. *Plant Systematics*: *An Integrated Approach. 3rd ed.* Jersey: Science Publishers Enfield, 2010:702.

[3] Plisko M.A. *Family Stachyuraceae. In*: *Comparative seed anatomy. A.L. Takhtajan* (*Eds*). Leningrad, USSR: Nauka, 1991;3:176-177. (In Russ.)

[4] Malinkina E.V. *Fleshy fruits of wild and cultivated plants as raw materials for obtaining fortified oils. In*: *New and non-traditional plants and prospects for their use.* E.V. Malinkina, O.V. Kislukhina, V.Yu. Rumyantsev (Eds). Moscow-Pushchino: RUDN University, 2001;3:532-534. (In Russ.)

[5] Sozonova L.I., Trusov N.A., Solomonova E.V. On classification and nomenclature of fleshy fruits. *Bulletin of the CENTRAL Botanical Garden*. 2012;3(198):65-67. (In Russ.)

[6] Savinov I.A. Typology of arils in seed plants. *Turczaninowia*. 2010;13(1):124-128. (In Russ.)

In the 20th century the taxonomists treated the family Stachyuraceae in different orders of flowering plants. Some researchers[7,8,9],[10],, placed Stachyuraceae near to the Flacourtiaceae family in the order Vilolales. According to the flower and sporoderm morphology, *Stachyurus* shows maximum similarity with Flacourtiaceae, especially with the tribe Scolopieae[11]. According to the characters of wood anatomy[12], Stachyuraceae resembles both Flacourtiaceae and Hamamelidaceae. The family Stachyuraceae was included in the order Hamamelidales by J. Hutchinson[13,14],. A. Cronquist 9 notes that the *Stachyurus* inflorescence resembles *Populus* (Salicaceae) and believes that the ancestors of both orders Violales and Salicales were very similar. However, such characters as placentation type (intrusive parietal, but not parietal one), the fruit morphology (a berry with distinct locules formed by fully fused septas), and particularly the seed structure (spermoderm is derived only from the outer integument) make Stachyuraceae much closer to Theales, and especially to the family Theaceae[15,16,17],[18],,.

A new stage in the study of Stachyuraceae began in 2002. The investigation of pollen (shape, size, aperture type and exine sculpture) of 37 species belonging to 19 genera from seven families (Stachyuraceae, Dilleniaceae, Actinidiaceae, Saurauiaceae, Ochnaceae, Staphyleaceae and Theaceae) with light and scanning electron microscopy[19] showed that Stachyuraceae, Staphyleaceae and Ternstroemoideae (Theaceae, but now often accepted as a separate family of Ternstroemiaceae) are closer to each other than to the rest of the studied families. According to cladistic analysis of Stachyuraceae and related families (Dilleniaceae, Ochnaceae, Theaceae, Actinidaceae and Staphyleaceae) in which 72 characters including of plant growth habits, external morphology, wood anatomy, flower structure, pollen morphology, embryology and chromosome number were analyzed using maximum parsimony method[20]. The family Stachyuraceae is shown to be more closely related to Staphyleaceae than to the families Actinidiaceae, Dilleniaceae, Ochanceae and Theaceae. Representatives of the new order Crossosomatales, first proposed by A.L. Takhtajan [8], are also actively involved in the investigation. Based on the study of the rbcL plastid DNA sequence, it was found that all four genera of the family Crossosomataceae form a well-supported clade with representatives of the families Stachyuraceae and Staphyleaceae [5, 6, 7]. In the APGII [8] and APG IV [9] systems the family Stachyuraceae is placed in the order Crossosomatales close to the family Staphyleaceae [1, 10].

The purpose of this work is to describe the morphological, anatomical structure of the fruits and their surface ultraculture in four Stachyurus species in order to identify their common features and differences that can be used with other diagnostic features for a more thorough consideration from different sides of the question of the systematic position of Stachyuraceae.

Research method

Методика исследований

The fruits of four species of Stachyurus – *S. chinensis* Franch, *S. himalaicus* Hook.f. e*t Thomson, S. praecox* Siebold et Zucc., *S. yunnanensis* Franch were studied. The fruits were obtained from the carpological collection and herbarium of the Komarov Botanical Institute the Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russia).

Since the material from the herbarium is dry, to restore the normal cellular organization, the fruits were softened for 10 days in a thermostat in a mixture of Strasburger: 90% ethyl alcohol, glycerin and water in the same proportions. The study of the morphology of fruits was carried out using binoculars of different resolution, since the external and sometimes internal structure of the fruits was studied [11]. The terminology used to describe the morphology of fruits is given here according to the source[21].

[7] Engler A. *Guttiferae, Quiinaceae. In*: *Die natürlichen Pflanzenfamilien. 2nd ed.* A. Engler, K. Prantl (Eds). Leipzig: W. Engelmann, 1925;21:154-237.

[8] Stebbins G.L. *Flowering plants evolution above the species level.* Cambridge Massachusetts: Harvard University Press, 1974:400.

[9] Cronquist A. *An integrated system of Classification of Flowering Plants.* New York: Columbia University Press, 1981:1262.

[10] Goldberg *A. Classification, evolution and phylogeny of the families of dicotyledons*. Washington: Smithsonian institution press city, 1986:315.

[11] Takhtajan A.L. *System and phylogeny of flowering plants*. Moscow-Leningrad, USSR: Nauka, 1966:611. (In Russ.)

[12] Li H.L. The genus Stachyurus. *Bull. Torrey Bot. Club.* 1943;70:615-628.

[13] Hutchinson J. *Evolution and phylogeny of flowering plants*. London & New York: Academic Press, 1969:717.

[14] Hutchinson J. *The families of flowering plants. 3rd ed.* Oxford: Oxford University Press, 1973:988.

[15] Corner E.I.H. *The seeds of Dycotyledons. In 2 Vol.* Cambridge University Press, 1976:863.

[16] Dahlgren R. General Aspects of Angiosperm Evolution and Macrosystematics. *Nord. J. Bot.* 1983;3:119-149.

[17] Thorne R.T. Classification and geography of flowering plants. *Bot. Rev.* 1992;58(3):225-348.

[18] Takhtajan A.L. *Diversity and classification of flowering plants.* New York: Columbia University Press,1997:620.

[19] Wei Z., Jin Q., Wang H, Tian X., Chen S. Pollen morphology of Stachyuraceae and related taxa. *Acta Bot. Yunnan.* 2002;24(4):483-496.

[20] Wei Z., Wang F., Jin Q., Wang H. A cladistic analysis of Stachyuraceae and related taxa. *Acta Bot. Yunnan*. 2002;24(5):591-599.

[21] Melikyan A.P., Devyatov A.G. *The basic carpological terms. Directory.* Moscow, Russia: KMK, 2001:47. (In Russ.)

To study the anatomy of the fruits, specimens were made according to the generally accepted methodology[22]. The fruits were poured into paraffin blocks. Fruit sectioning was performed in two ways – manually with a razor blade and for thinner and clearer sections a sliding microtome was used. For further work, only cross sections of mature fruits in their middle part (10-25 µm thick) were taken. To determine the degree of lignification of the cell walls in different areas of the pericarp, a lignin detection reaction was carried out by adding phloroglucin and hydrochloric acid. For the possible identification of different cellular structures and inclusions, as well as their possible chemical composition, staining reactions with I-KI solution and Sudan III were performed according to the accepted rules [22]. Fully prepared and stained specimens were placed in a drop of glycerin on a microscope slide and covered with a coverslip. Excess glycerin around the edges of the slide was removed with a napkin. The edges of the coverslips were fixed with varnish for reliable preservation of more successful specimens.

The prepared specimens were examined at various magnifications of the "Biolam" light microscope. In order to get a more detailed picture of the anatomical structure of the fruit, the "RA-4" plotter was used. The study of the micromorphology of the fruit surface was carried out using a HITACHI S-405A electron scanning microscope [11]. The main ultrastructural features of the fruit surface were noted and micrographs were taken.

The carpological descriptions of *Stachyurus* species are given in a previously accepted specific order [11].

Results and discussion

Результаты и их обсуждение

Stachyurus chinensis **Franch.** The fruit is a berry, glabrous, globose, 6-7 mm in diameter, with the remaining long curved column up to 2.5 mm long (Fig. 1a). The fruit surface is leathery, thin. On the surface of ripe fruits, protrusions are noticeable due to the increase in size of fully developed numerous seeds. The fruit is 4-loculed, with numerous seeds on intrusive placentas. The seeds are small, curved, up to 1.5 mm in diameter, with fleshy funicular aril.

The pericarp consists of 10-16 layers of cells (Fig. 2a). The exocarp is represented by a single-layered epidermis of rectangular thin-walled cells, elongated in the tangential direction. The mesocarp is unspecialized and consists of 8-14 layers of parenchymatous cells of isodiametric shape. A single circle of vascular bundles is located in the middle layers of the mesocarp. The endocarp consists of a single-layered epidermis of thin-walled, tangentially elongated cells.

The ultrasculpture (or primary sculpture) is wavy. The cuticle is continuous; its ridges are visible. Epicuticular wax is in the form of granules (Fig. 3a).

Stachyurus himalaicus **Hook.f. et Thomson.** The fruit is a berry, subglobose, 7-8 mm in diameter, with the remaining long column up to 2.5 mm long (Fig. 1b). The pericarp is leathery and it is so thin that numerous protruding seeds can be seen on the surface of the ripe fruit. The fruit is 4-locular, with numerous seeds on intrusive fused placentas (Fig. 1e). The seeds are small, curved, up to one mm in diameter, with a fleshy aryl.

The pericarp consists of 20-26 layers of cells (Fig. 2b). The exocarp is represented by a single-layered epidermis of rectangular thin-walled cells that are elongated in the tangential direction. The mesocarp is unspecialized and consists of 18-24 layers of isodiametric parenchymatous cells. A single circle of vascular bundles is localized in the middle layers of cells. The endocarp is formed by a single-layered epidermis of thin-walled cells, strongly elongated in the tangential direction.

The surface of the fruit is wavy. The cuticle is continuous; its thickenings are visible as ridges. The epicuticular wax is in the form of small granules (Fig. 3b).

Stachyurus praecox **Siebold et Zucc.** The fruit is a berry, globose or broadly elliptic, 7-12 mm long (including a small residual column) and up to 9 mm in diameter (Fig. 1c). The pericarp is leathery; seed protrusions are visible on the surface of the fruit. The fruit is 4-locular, with numerous seeds on intrusive fused placentas. The seeds are small, curved, up to 1.5 mm in diameter, with a fleshy aryl.

The pericarp consists of 22-27 layers of cells (Fig. 2c). The exocarp is represented by a single-layered epidermis, consisting of thin-walled rectangular cells that are slightly elongated in the tangential direction. The mesocarp is unspecialized and consists of 20-25 layers of isodiametric parenchymatous cells. The vascular bundles are found in the middle layers of the mesocarp cells and form a single circle. The endocarp is represented by a single-layered epidermis of thin-walled cells, elongated in tangential direction.

The surface of the fruit is wavy. The cuticle is continuous. Granules of epicuticular wax form separate clusters (Fig. 3c, Fig. 3d).

Stachyurus yunnanensis **Franch.** The fruit morphology of *S. yunnanensis* is similar to *S. himalaicus* – it is almost globose up to 7 mm in diameter, with a long column remaining up to 2.5 mm in length (Fig. 1d). The main difference is that *S. yunnnanensis* has larger protrusions of seeds on the surface of the fruit.

The pericarp consists of 22-30 layers of cells (Fig. 2d.). The exocarp is formed by a single-layered epidermis of thin-walled, rectangular, tangentially elongated cells. The mesocarp is unspecialized and consists

[22] Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G., Dzhalilova Kh.Kh. et al. *Fundamentals of microtechnical research in Botany*: a reference guide. Moscow, Russia: Izdatelstvo kafedry vysshikh rasteniy biologicheskogo fakulteta Moskovkogo gosudarstvennogo universiteta, 2000:127. (In Russ.)

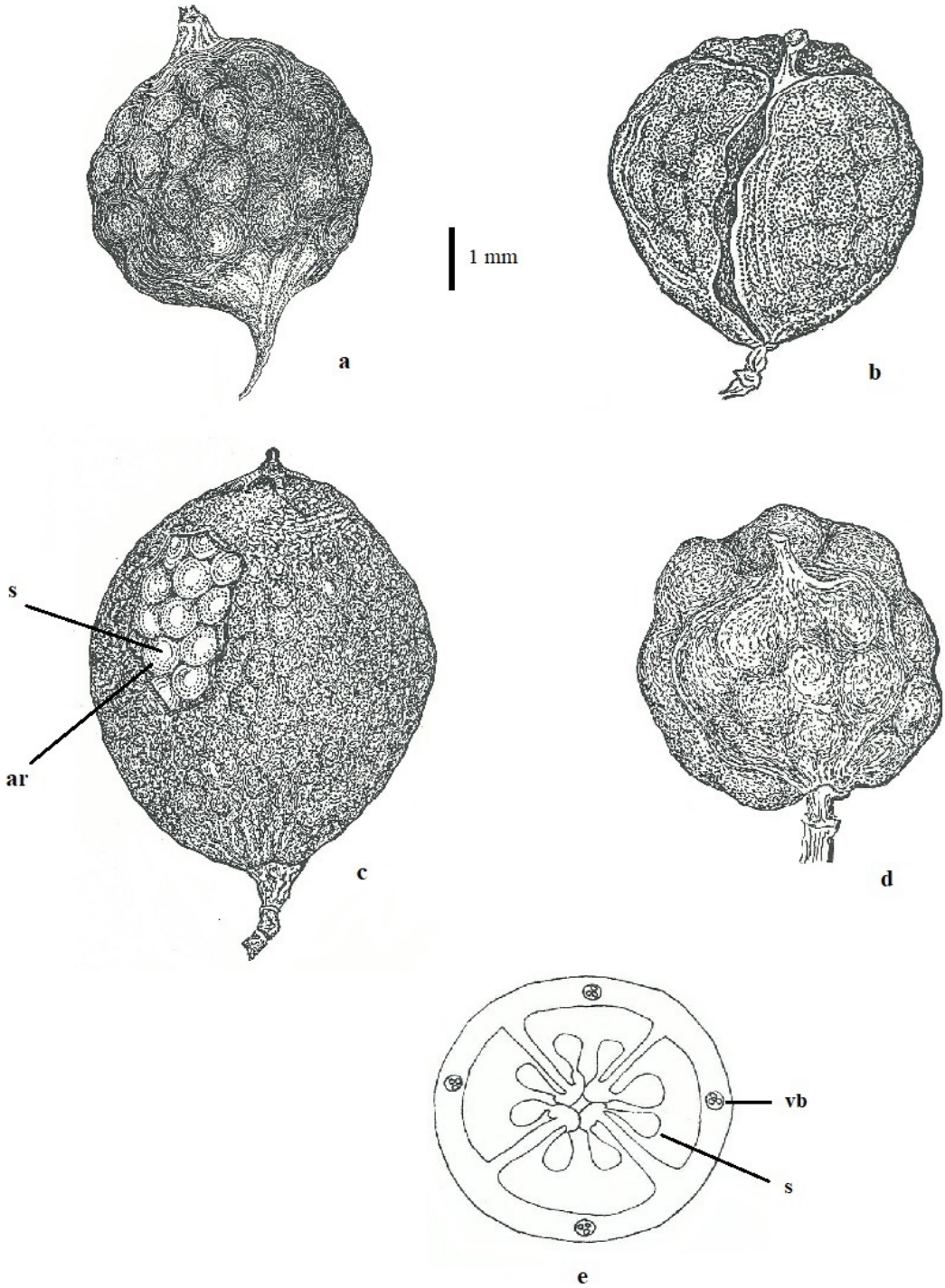


Fig. 1. Fruit morphology:
a – *Stachyurus chinensis* Franch.; b – *S. himalaicus* Hook.f. et Thomson; c – *S. praecox* Siebold et Zucc.; d – *S. yunnanensis* Franch.;. e – schematic transverse section in the middle of an unripe fruit *S. himalaicus* Hook.f. et Thomson (scheme). Scale bar is one mm.
Legend: vb – vascular bundles, s – seeds on intrusive on intrusive fused placentas (in the lower and middle parts of the fruit) – 1e, and mature seeds – 1c, ar – fleshy funicular aril

of 20-28 layers of isodiametric parenchymatous cells. A circle of vascular bundles is localized in the middle layers of cells. The endocarp consists of a single-layered epidermis of thin-walled cells, highly elongated in the tangential direction.

The surface of the fruit is striated. The cuticle is continuous and its ridges are visible. Epicuticular wax in the form of granules (Fig. 3d, Fig. 3e).

The fruits of the Stachyuraceae are shown to be polyspermous berries with four locules. Seed protrusions can be seen on the surface of the fruit, indicating that the pericarp is thin, not composed of numerous layers of cells, and it does not have mechanical tissues. In total, the pericarp consists of 10-30 cell layers. The exocarp of all *Stachyurus* species studied is single-layered and consists

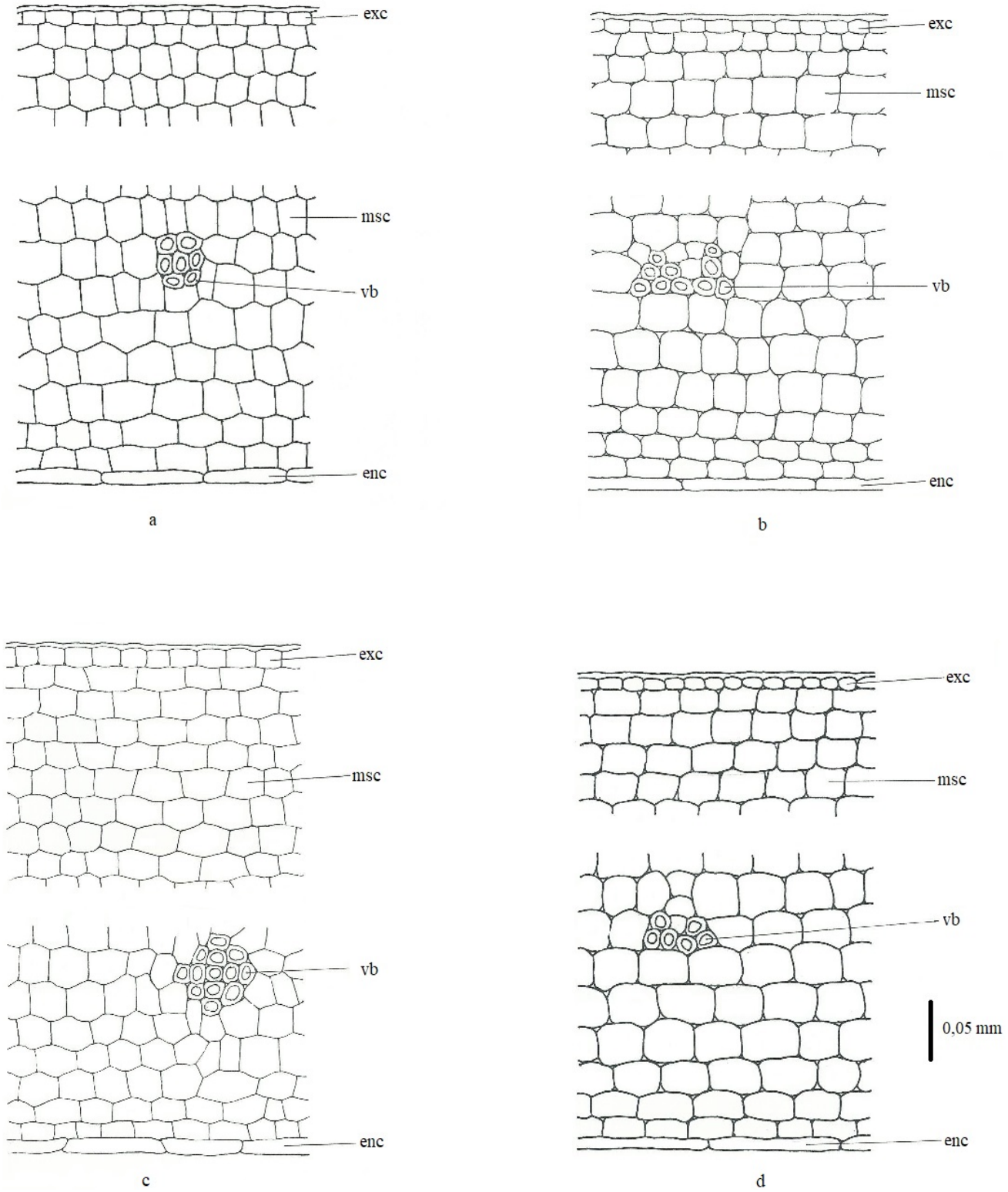


Fig. 2. Fruit anatomy:
a – *Stachyurus chinensis* Franch.; b – *S. himalaicus* Hook.f. et Thomson; c – *S. praecox* Siebold et Zucc.; g – *S. yunnanensis* Franch. Scale bar is 0.05 mm.
Legend: exc – exocarp, msc – mesocarp, enc – endocarp, vb – vascular bundles

of thin-walled rectangular cells. The mesocarp is unspecialized and undifferentiated, and in fact it is a zone composed of layers of thin-walled parenchymatous cells of isodiametric shape. The endocarp is single-layered and is represented by thin-walled cells elongated in the tangential direction. Representatives of Stachyuraceae are characterized by wavy, rarely- striate (S. yunnanensis) ultrasculpture of the pericarp surface. The cuticle is continuous. Epicuticular wax is deposited in the form of granules (*S. chinensis*, *S. yunnanensis*), small granules (*S. himalaicus*) or separate clusters (*S. praecox*).

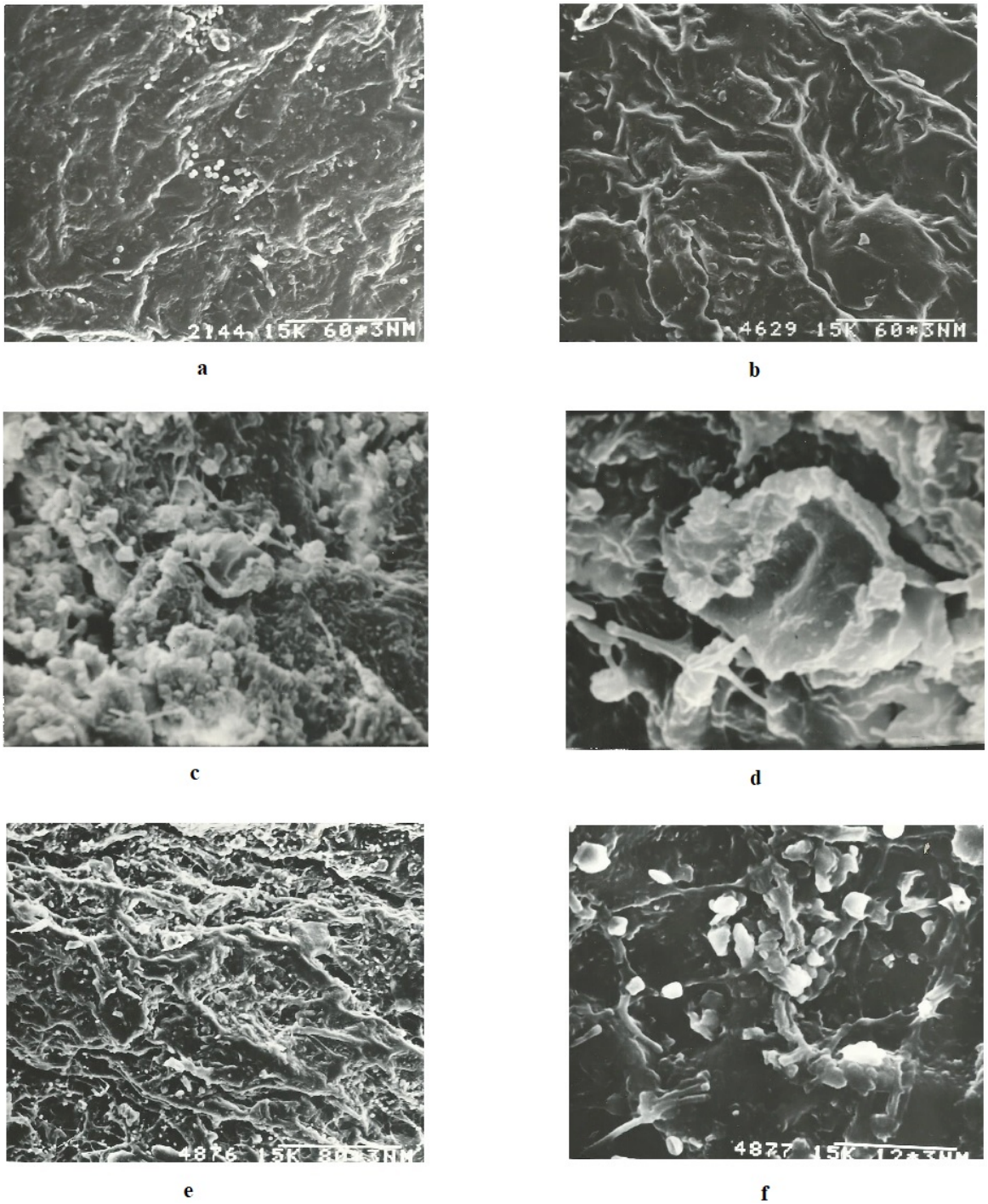


Fig. 3. Fruit surface micromorphology:
a – *Stachyurus chinensis* Franch. (increase × 500); b – *S. himalaicus* Hook.f. et Thomson (× 500);
c – *S. praecox* Siebold et Zucc. (× 500); d – *S. praecox* Siebold et Zucc. (× 1000);
e – *S. yunnanensis* Franch. (× 380); f – *S. yunnanensis* Franch. (× 1000)

Conclusions

Выводы

According to the revealed carpological features (polyspermous fruit, unspecialized mesocarp, lack of mechanical tissues and absence of secretory substances (in cells, in cavities) in the pericarp) and morphological characters (scalariform perforation plates with many bars, anomocytic stomata), the family Stachyuraceae is an unspecialized group of plants. The different species of *Stachyurus* can be distinguished by the characters of fruit surface micromorphology – the type of the pericarp surface ultrasculpture and the presence and shape of the epicuticular wax. An interesting preliminary conclusion is that all the studied fruit samples of the four Stachyurus species are quite archaic in terms of their anatomical features. The revealed new features of the fruit structure supplemented the data on the reproductive biology of the Stachyuraceae.

References

1. *Stachyurus. World Flora Online.* URL: https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000036247 (accessed: September 15, 2024).

2. *Stachyurus. Plants of the World Online.* URL: https://powo.science.kew.org/taxon/urn: lsid: ipni.org: names:39125-1 (accessed: September 15, 2024).

3. Schneider J.V. Stachyuraceae. *In*: *The Families and Genera of Vascular Plants. Flowering Plants Eudicots*. *K. Kubitzki* (*Eds*). Berlin, Heidelberg: Springer, 2007;9:436-439. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32219-1_48

4. Takhtajan A.L. *Flowering Plants*. New York: Springer Science et Business Media, 2009:871. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9609-9_2

5. Matthews M.L, Endress P.K. Comparative floral structure and systematics in Crossosomatales (Crossosomataceae, Stachyuraceae, Staphyleaceae, Aphloiaceae, Geissolomataceae, Ixerbaceae, Strasburgeriaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2005;147(1):1-46. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00347.x

6. Sosa V., Chase M.W. Phylogenetic of Crossosomataceae based on rbcL sequence data. *Syst. Bot*. 2009;28(1):96-105. https://doi.org/10.1043/0363-6445-28.1.96

7. Zhu Yu-Ping, Wen J., Zhang Zhi-Yun, Chen Zhi-Duan Evolutionary relationships and diversification of Stachyuraceae based on sequences of four chloroplast markers and the nuclear ribosomal ITS region. *Taxon*. 2006;55(4):931-940. https://doi.org/10.2307/25065687

8. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Bot. J. Linn. Soc*. 2003;141:399-436. https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x

9. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* 2016;181(1):1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

10. Govaerts R., Nic Lughadha E., Black N., Turner R., Paton A.J. The World Checklist of Vascular Plants, a continuously updated resource for exploring global plant diversity. *Scietific Data*. 2021;8(215). https://doi.org/10.1038/s41597-021-00997-6

11. Zolkin S.Yu. Comparative carpology of representatives of the genus *Symplocos* Jacq. (Symplocaceae). *Turczaninowia*. 2013;16(3):096-104. (In Russ.)

Список источников

1. *Stachyurus // World Flora Online.* URL: https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000036247 (accessed: September 15, 2024)

2. *Stachyurus // Plants of the World Online.* URL: https://powo.science.kew.org/taxon/urn: lsid: ipni.org: names:39125-1 (accessed: September 15, 2024)

3. Schneider J.V. Stachyuraceae. *In*: *The Families and Genera of Vascular Plants. Flowering Plants Eudicots*. *K. Kubitzki* (*Eds*). Berlin, Heidelberg: Springer, 2007; 9:436-439. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32219-1_48

4. Takhtajan A.L. *Flowering Plants*. New York: Springer Science et Business Media, 2009:871. https://doi.org/ 10.1007/978-1-4020-9609-9_2

5. Matthews M.L., Endress P.K. Comparative floral structure and systematics in Crossosomatales (Crossosomataceae, Stachyuraceae, Staphyleaceae, Aphloiaceae, Geissolomataceae, Ixerbaceae, Strasburgeriaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2005;147(1):1-46. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00347.x

6. Sosa V., Chase M.W. Phylogenetic of Crossosomataceae based on rbcL sequence data. *Syst. Bot*. 2009;28(1):96-105. https://doi.org/10.1043/0363-6445-28.1.96

7. Zhu Yu-Ping, Wen J., Zhang Zhi-Yun, Chen Zhi-Duan. Evolutionary relationships and diversification of Stachyuraceae based on sequences of four chloroplast markers and the nuclear ribosomal ITS region. *Taxon*. 2006;55(4): 931-940. https://doi.org/10.2307/25065687

8. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Bot. J. Linn. Soc*. 2003;141:399-436. https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x

9. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG I*V.Bot. J. Linn. Soc.* 2016;181(1):1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

10. Govaerts R., Nic Lughadha E., Black N., Turner R., Paton A.J. The World Checklist of Vascular Plants, a continuously updated resource for exploring global plant diversity. *Scietific Data*. 2021;8(215). https://doi.org/10.1038/s41597-021-00997-6

11. Золкин С.Ю. Сравнительная карпология представителей рода *Symplocos* Jacq. (Symplocaceae) // *Turczaninowia*. 2013. Т. 16, № 3. С. 096-104. EDN: RRZQEP

Information about the author

Sergei Yu. Zolkin, CSc (Bio), Senior Research Associate, Supervisor of Exposition Department No. 1 and Tropical Forest Department; Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya St., Moscow, 127276, Russian Federation); e-mail: szolkin@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-5180-8673

Сведения об авторе

Сергей Юрьевич Золкин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, куратор экспозиционного отделения № 1 и отделения «Тропический лес», Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; 127276, Россия, г. Москва, Ботаническая ул., 4; e-mail: szolkin@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-5180-8673

The article was submitted to the editorial office July 15, 2024
Approved after reviewing September 28, 2024
Accepted for publication September 21, 2024

Статья поступила в редакцию 15.07.2024
Одобрена после рецензирования 28.09.2024
Принята к публикации 21.09.2024

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ /
BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Оригинальная научная статья
УДК 619:636.4: 616.98:578.842.1
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-33-43

Организация противоэпизоотической работы при африканской чуме свиней в Республике Крым

Нина Валериевна Воложанинова, Ирина Анатольевна Гуренко, Елена Анатольевна Белявцева

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Крым

Автор, ответственный за переписку: Нина Валериевна Воложанинова, ya.volojaninova@yandex.ru

Аннотация
Африканская чума – опасное вирусное заболеваний свиней, имеющее широкое распространение и наносящее свиноводству колоссальный экономический ущерб. В связи с этим мониторинг эпизоотической ситуации и оценка эффективности противоэпизоотической работы при данной инфекции являются актуальными. В работе использовали методы комплексного эпизоотологического исследования. Исходными данными служили учетные и отчетные материалы Государственного комитета ветеринарии Республики Крым, оперативная информация официального сайта Управления Россельхознадзора по Республике Крым и городу Севастополь. Первая вспышка африканской чумы свиней на территории Республики Крым была зарегистрирована в начале 2016 г. в Раздольненском районе, причина возникновения которой до конца не выяснена. В дальнейшем, за период 2016-2017 гг., было выявлено 26 новых вспышек заболевания свиней АЧС среди диких и домашних животных. В декабре 2023 г. и в марте 2024 г. были отмечены эпизоотические очаги африканской чумы среди домашних свиней в с. Маловидное и с. Угловое Бахчисарайского района. С целью профилактики заноса вируса африканской чумы в благополучные регионы необходимо проводить просветительскую и разъяснительную работу среди населения и персонала о возможных путях заноса и распространения возбудителя АЧС; руководителей свиноводческих предприятий и собственников обязать создать условия кормления и содержания животных в соответствии с ветеринарно-санитарными нормами и указаниями ветеринарных специалистов; своевременно вакцинировать животных против рожи и классической чумы свиней; регулярно проводить дезинфекцию и дератизацию помещений, не допускать скопления мусора; немедленно оповещать ветеринарную службу обо всех случаях заболевания и падежа свиней и обеспечить беспрепятственный доступ ветеринаров для отбора проб и проведения соответствующих мероприятий. Важными являются запрет подворного убоя и тщательный контроль движения людей, животных и кормов, особенно из неблагополучных пунктов.

Ключевые слова
африканская чума свиней, дикие кабаны, домашние свиньи, противоэпизоотические мероприятия, африканская чума в Крыму, Крым

Для цитирования:
Воложанинова Н.В., Гуренко И.А., Белявцева Е.А. Организация противоэпизоотической работы при африканской чуме свиней в Республике Крым // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 33-43. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-33-43

BIOLOGICAL RESOURCES

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-33-43

Organization of antiepizootic work in case of African swine fever in the Republic of Crimea

Nina V. Volozhaninova, Irina A. Gurenko, Elena A. Belyavtseva

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Corresponding author: Nina V. Volozhaninova, ya.volojaninova@yandex.ru

Abstract
African swine fever is a dangerous viral disease of pigs that is widespread and causes enormous economic damage to the pig industry. In this regard, it is important to monitor the epizootic situation and evaluate the effectiveness of antiepizootic work

in this infection. The methods of complex epizootological research were used in the work. The initial data were accounting and reporting materials of the State Veterinary Committee of the Republic of Crimea, operational information from the official website of the Rosselkhoznadzor Administration for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. The first outbreak of African swine fever on the territory of the Republic of Crimea was registered in early 2016 in the Razdolnenskiy district, the cause of which has not been fully clarified. Subsequently, in the period 2016-2017, 26 new outbreaks of ASF disease were detected among wild and domestic animals. In December 2023 and March 2024, epizootic outbreaks of African swine fever were observed among domestic pigs in the villages of Malovidnoe and Uglovoe, Bakhchisarayskiy district. In order to prevent the introduction of the African swine fever virus into safe regions, it is necessary to carry out educational and awareness-raising work among the population and personnel on the possible ways of introduction and spread of the ASF pathogen. Managers of pig-breeding enterprises and owners should be obliged to create conditions for feeding and keeping animals in accordance with veterinary and sanitary norms and instructions of veterinary specialists. It is also necessary to vaccinate animals against erysipelas and classical swine fever in time, to regularly disinfect and deratize the premises, to prevent the accumulation of waste. All cases of disease and death of pigs should be immediately reported to the veterinary service, and unhindered access for veterinarians for sampling and appropriate action should be ensured. It is important to ban domestic slaughter and carefully control the movement of people, animals and feed, especially from unfavorable areas.

Keywords
African swine fever, wild boars, domestic pigs, antiepizootic measures, African swine fever in Crimea, Crimea

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Volozhaninova N.V., Gurenko I.A., Belyavtseva E.A. Organization of antiepizootic work in case of African swine fever in the Republic of Crimea. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):33-43. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-33-43

Введение
Introduction

Географические и климатические особенности Крыма позволяют рассматривать данный регион как всероссийскую здравницу. В настоящее время в республике проживают около 2 млн чел., ежегодный туристический поток составляет 5-6 млн чел., при этом наблюдается тенденция его увеличения. Сложившаяся ситуация требует решения проблемы обеспечения населения и гостей Крыма высококачественными продуктами питания.

Одной из основных отраслей животноводства, позволяющих решить данную проблему, является свиноводство. Однако получение свинины надлежащего качества возможно лишь при условии наличия здорового поголовья свиней. Это накладывает на специалистов ветеринарной медицины ответственность по разработке профилактических и противоэпизоотических мероприятий, направленных на защиту свинопоголовья от инфекционных болезней.

В настоящее время наиболее серьезную опасность представляет африканская чума свиней [1].

Африканская чума свиней (АЧС) – высококонтагиозное заболевание свиней всех видов и половозрастных групп вирусной этиологии, характеризующееся повышением температуры, цианозом кожи, обширными воспалительными, геморрагическими и дистрофическими поражениями внутренних органов. Название болезни имеет несколько синонимов: восточноафриканская лихорадка, болезнь Монтгомери [2].

В природных условиях вирус циркулирует в популяциях диких африканских свиней, домашних свиней и аргасовых клещей рода *Ornithodoros*. Вирус африканки малоустойчив к дезинфицирующим средствам и неблагоприятным условиям внешней среды. По данным показателям он отнесен к категории А. Наличие в составе вируса липидов делает его чувствительным ко всем дезинфектантам, которые вызывают его дегидратацию, – это детергенты, мыло и др. Что касается внешней среды, то выживаемость возбудителя повышается в холодных и влажных условиях.

Однако вне организма в продуктах свиного происхождения, крови, сыворотке крови вирус выказывает довольно высокую устойчивость. При этом он резистентен к крайним показателям pH, протеазам и нуклеазам. Вирус устойчив к гниению, не гибнет при трупном окоченении и аутолизе. Он длительно выживает и сохраняет свою инфекционность в навозе свиней, в охлажденной и замороженной свинине, фарше, сырокопченых колбасах, соленой ветчине, сале, а также в пищевых отходах и кормах[1], в которых есть продукты свиного происхождения [3].

Относительно клещей *Ornithodoros* доктор Хосе Санчес-Вискаино (Sanchez-Vizcaino, 2010) утверждает, что «вирус АЧС может размножаться, накапливаться до титров >10^4 ИЕ/клещ, сохраняться в активном состоянии до 2-3 лет в естественной среде обитания и до 8 лет в лабораторных условиях (сроки наблюдений). Инфекция в популяциях клещей независимо от восприимчивого позвоночного хозяина (диких и домашних свиней) распространяется горизонтально (половым путем среди африканских клещей O. moubata) и вертикально (трансовариально у O.moubata, трансфазово у O. moubata и европейского вида O. erraticus)» [4].

[1] Бабкин М.В., Григорьев Д.Ю., Титтл К. Ветеринарно-санитарные аспекты профилактики распространения африканской чумы свиней // Свинарство України. 2012. № 8. С. 26-29.

В качестве эффективных препаратов для дезинфекции при африканской чуме свиней авторы многих исследований и практикующие специалисты рекомендуют растворы гипохлорита, формалина, едкого натра, йодсодержащие средства [5].

Африканская чума свиней наносит отрасли огромные экономические убытки. Общий экономический ущерб слагается из целого ряда показателей. В первую очередь, это прямые убытки от гибели больных животных и уничтожения всех потенциально восприимчивых в первичном очаге и в первой карантинной зоне. Кроме того, свиноводческие хозяйства всех форм собственности терпят значительный ущерб от санитарного убоя свиней и, соответственно, реализации животных по сниженной стоимости. К ущербу следует отнести и затраты на организацию и проведение карантинных и противоэпизоотических мероприятий при африканской чуме свиней. На организацию и проведение мониторинга АЧС в угрожаемых и сопредельных территориях также выделяются значительные средства. От эпизоотий и энзоотий АЧС несут финансовые потери, и мясоперерабатывающие предприятия, целые регионы внутри одной страны и отдельные страны терпят серьезные экономические убытки ввиду запретов на торговлю животными, свининой и продукцией свиного происхождения. В определенной степени страдает туристическая и культурная отрасль: на неблагополучных территориях запрещено проведение различных выставок, соревнований, охоты. Еще одной слагаемой экономического ущерба является снижение численности диких кабанов, причинами чего являются гибель заболевших животных и отстрел для проведения диагностических исследований [6, 7].

В формировании эпизоотического процесса при африканской чуме свиней непосредственное участие принимают вирус АЧС, дикие и домашние свиньи всех пород и возрастов и клещи рода *Ornithodoros*. При этом дикие африканские свиньи (бородавочники, кистеухие и гигантские лесные свиньи) и разные виды клещей рода *Ornithodoros* являются резервуарами возбудителя инфекции в природных условиях, обеспечивая тем самым формирование природной очаговости болезни. Интересным является тот факт, что все участники процесса оказывают друг на друга влияние. Вирус АЧС в своем составе является неоднородным, отмечены различия в размерах, наличии полноценных или дефектных вариантов частиц. Кроме того, для этого вируса характерна значительная вариабельность вирулентных свойств и легкости перехода от состояния авирулентности до высокой степени вирулентности и обратно – в зависимости от сложившихся условий[2].

Так, популяция клещей рода *Ornithodoros* представлена несколькими видами, инфицированность и выживаемость в их организмах вируса не одинакова. При этом определенная часть клещей заболевает и погибает. Некоторые виды малочувствительны к инфицированию. Во всех случаях в организме выживших или невосприимчивых особей вирус переживает, размножается и распространяется горизонтально при половом контакте и омовампиризме или передается последующим поколениям вертикально: трансовариально и трансфазно. При этом, как указывают многие исследователи, гибель клещей и, как следствие, создание биологического «тупика» вызывают высоковирулентные штаммы вируса. Такое явление наблюдается и в популяциях диких свиней, где присутствуют животные с разной восприимчивостью к возбудителю, вариабельной организацией иммунной системы и др. Это приводит к дифференцировке вариантов вируса по степени вирулентности и проявляется либо гибелью инфицированных животных, либо их выживанием. Со временем количество клещей, пораженных вирусом АЧС, снижалось. Посредством укусов они инфицировали здоровых свиней. Через 3-5 дней у животных отмечались признаки болезни, но они оставались живыми. Сложившаяся ситуация привела к тому, что и в популяции диких свиней циркулируют преимущественно вирусы низкой вирулентности: между вирусом, клещами и дикими свиньями произошло взаимное приспособление и адаптация друг к другу. Это обеспечивает выживаемость вируса в природных условиях [3].

Иначе проявляется взаимодействие вируса АЧС при первом контакте с интактными домашними и дикими животными, когда отмечают движение возбудителей с разной степенью вирулентности: высокой, умеренной, низкой. В результате этого наблюдаются различные формы проявления болезни: от острой до латентной. И если на первых этапах эпизоотии отмечаются опустошительные вспышки с гибелью до 90-100% заболевших свиней, то через непродолжительное время тяжесть течения заболевания снижается, и фиксируется большое количество особей, у которых болезнь протекает без выраженных клинических признаков, а также вирусоносителей [3]. Поэтому особенностью африканской чумы свиней является то, что болезнь может проявляться и как факторная инфекция (при циркуляции слабовирулентных штаммов), и как классическая инфекция с манифестным проявлением (циркуляция высокопатогенных штаммов). При этом вирус АЧС отличается выраженной способностью изменять свою вирулентность. Такое положение создает дополнительные трудности в диагностике и, как следствие, в организации противоэпизоотической работы. При классическом проявлении болезни наблюдается характерный симптомокомплекс, который подтверждается лабораторными методами. При переходе болезни в хроническое

[2] Бутко М.П. Памятка о мерах профилактики африканской чумы свиней (АЧС) в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) граждан // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2011. № 1. С. 83-84.

и бессимптомное состояние клиническая картина смазывается, инфекция маскируется: у животных наблюдают некоторое недомогание, отсутствует целый ряд патологоанатомических изменений, свойственных АЧС. При этом у многих специалистов, и в большей степени у собственников свиней, вызывают сомнения результаты лабораторного подтверждения заболевания. У некоторых животных после их контакта с вирусоносителями не могли определить наличие в организме вируса доступными методами. Но через некоторое время введение другим свиньям их тканевых компонентов вызывало заболевание африканской чумой [9, 10].

В поддержании эпизоотического процесса определенную роль играют также некоторые другие группы кровососущих насекомых – например, комары и жалящие мухи. Но в их организмах вирус не размножается, передача от одних особей популяции к другим отсутствует, то есть они являются механическими переносчиками возбудителя так же, как птицы и мышоподобные грызуны (клещи *Ornithodoros* могут паразитировать на них и инокулировать вирус в их организм). Вирус АЧС, клещи *Ornithodoros* и наличие восприимчивого поголовья домашних и диких свиней, механические переносчики и некоторые стихийные бедствия (например, паводки) относятся к природным факторам эпизоотических рисков.

На эпизоотический процесс АЧС не в меньшей степени оказывают влияние и факторы риска, связанные с деятельностью человека. К таким показателям относятся: отсутствие контроля за перемещением животных в хозяйствах, в пределах областей и краев в стране, а также экспортом и импортом свиней и продукции свиноводства; миграция граждан и туристов; использование в качестве кормов для свиней пищевых и производственных отходов без тщательной термической обработки; использование технических средств специального назначения для других целей; недостаточная дезинфекция или применение неэффективных дезинфицирующих средств; укрытие поголовья свиней по причине потери доверия к исполнительным органам при выплате компенсаций; ложнопозитивная или несвоевременная диагностика, которая сопровождается отсутствием жестких противоэпизоотических мероприятий; отсутствие знаний об экологических аспектах болезни; некоторые другие факторы, приводящие к еще большему распространению инфекции в мире [9, 11].

Биологические препараты специфической профилактики и средства медикаментозного лечения при африканской чуме свиней отсутствуют. Только четкое и неукоснительное соблюдение ветеринарно-санитарных требований могут в достаточной степени гарантировать недопущение заноса возбудителя африканки в свиноводческие хозяйства различных форм собственности и сохранение эпизоотического благополучия региона.

В связи с вышеизложенным анализ и коррекция (при необходимости) противоэпизоотической работы в свиноводческих хозяйствах Крымского полуострова являются актуальными.

Цель исследований: изучение эпизоотической ситуации по африканской чуме свиней и оценка эффективности противоэпизоотических мероприятий в свиноводческих хозяйствах Республики Крым.

Методика исследований
Research method

Работа проводилась на базе кафедры микробиологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института «Агротехнологическая академия» биоресурсов и природопользования КФУ им. В.И. Вернадского и в ряде свиноводческих хозяйств Республики Крым. В работе использовали методы комплексного эпизоотологического исследования. Исходными данными исследований служили учетные и отчетные материалы Государственного комитета ветеринарии Республики Крым, оперативная информация официального сайта Управления Россельхознадзора по Республике Крым и городу Севастополю. В работе использовали методы комплексного эпизоотологического исследования, его исторического и географического аспектов, придерживаясь «Рекомендаций по методике эпизоотологического исследования» [12].

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Крымский полуостров в определенной степени географически обособлен: восточная, южная и западная стороны омываются водами Черного и Азовского морей, северная сторона имеет непродолжительную сухопутную границу с материковой частью. Благоприятное территориальное расположение позволяет более четко контролировать эпизоотическое благополучие по ряду инфекционных болезней, к которым можно отнести и африканскую чуму свиней.

На сопредельных территориях АЧС впервые была зарегистрирована в 1977 г. в Одессе. Как удалось установить, вирус в страну занесли морским путем, когда некоторые суда закупали продукты питания для своих экипажей в неблагополучных по этому заболеванию Бразилии и Доминиканской Республике, а отходы уже в Одессе отвозили свиньям. Второй случай был зафиксирован в 2012 г. в Запорожской области, который связывали с заносом инфекции из Российской Федерации. В обоих случаях удалось ликвидировать первичные очаги и не допустить распространения вируса на другие регионы. В этот период возникла реальная угроза заноса вируса африканки на территорию полуострова ввиду наличия тесных хозяйственно-экономических и общественно-социальных отношений с неблагополучными регионами Украины, а также возможной миграции диких кабанов по Арабатской стрелке. В этой связи ветеринарной

службой Крыма были предприняты жесткие профилактические и ограничительные мероприятия, которые позволили сохранить эпизоотическое благополучие по данной инфекции на полуострове.

В Российской Федерации АЧС регистрируется с 2007 г. На территорию страны вирус попал из Грузии, где первые случаи АЧС возникли вблизи Поти. Как вирус попал в Грузию, достоверно не выяснено. По стране заболевание распространилось по магистралям движения. Провоцирующими факторами были: выращивание свиней традиционно свободновыгульным способом, что способствовало контакту домашних свиней с дикими; передвижение больных животных; реализация продуктов свиноводства от больных и вирусоносителей без контроля со стороны ветеринарных органов. В стране не проводились своевременные и жесткие мероприятия, направленные на искоренение африканки. На территории Армении первые вспышки АЧС были зарегистрированы в 2007 г. среди домашних свиней, но уже в 2010 г. в стране вновь диагностировали эту инфекцию. При этом вирус выявляли и у диких кабанов.

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается сложная эпизоотическая ситуация по африканской чуме свиней. Наибольшее количество вспышек отмечено в Ростовской области, Северной Осетии, Краснодарском и Ставропольском краях. Несмотря на проводимые ликвидационные мероприятия, в этих регионах, вероятно, сформировались природные очаги инфекции. Кроме того, на территории страны циркулирует рад штаммов возбудителя, степень патогенности которых варьирует от высоковирулентных до авирулентных. Это объясняет разную степень выраженности клинических признаков и, как следствие, практически 100%-ную летальность свиней при первичных вспышках и переход в хроническую и латентную форму течения болезни в стационарно неблагополучных пунктах. При этом клиническое и патологоанатомическое проявление инфекции часто бывает смазанным, нетипичным для африканской чумы, что в значительной степени затрудняет постановку диагноза. Поскольку быстрой гибели животных во многих случаях хронического и латентного течения не наблюдается, владельцы свиней в личных подсобных хозяйствах не связывают болезненные проявления с африканской чумой и не сообщают о случаях заболевания ветеринарным специалистам, проводят подворный убой, что способствует распространению возбудителя инфекции.

Современная эпизоотическая ситуация характеризуется дальнейшим распространением болезни на европейском континенте. Так, африканская чума свиней регистрируется в таких сопредельных государствах, как Грузия, Армения, Азербайджан, Украина, Беларусь, Польша, страны Прибалтики и др. На рисунке 1 представлены данные Россельхознадзора Российской Федерации по распространению АЧС на территориях РФ, стран Европы и Азии, из которых следует, что вирус африканки имеет довольно широкое распространение в мире.

При этом во многих случаях имеет место поражение не только домашних, но и диких свиней. Это способствует формированию природной очаговости болезни, что в значительной степени затрудняет проведение противоэпизоотических мероприятий.

Первая вспышка африканской чумы свиней на территории Республики Крым была зарегистрирована в начале 2016 г. в Раздольненском районе, причина возникновения ее до конца не выяснена. Благодаря слаженной работе ветеринарных специалистов и представителей других служб очаг удалось ликвидировать и не допустить распространения вируса на благополучные территории республики. Однако вследствие возрастания социально-экономических связей с Краснодарским краем и другими субъектами Российской Федерации угроза заноса возбудителя из неблагополучных регионов стала реальностью. Так, в конце 2016 г. в Крыму были зарегистрированы новые вспышки заболевания свиней африканской чумой среди домашних животных в Белогорском, Ленинском, Первомайском, Раздольненском и Советском районах. В 2017 г. в Белогорском районе было зафиксировано 7 очагов АЧС (2 – у домашних животных, 5 – у диких кабанов), в Советском – 4 очага среди домашних животных. В городском округе Алушта отмечен 1 случай африканки в популяции кабана, а в городском округе Судак – 3 случая (табл. 1).

В течение последующих 4 лет АЧС на территории Крыма не регистрировалась. Однако в декабре 2023 г. и в марте 2024 г. были зафиксированы эпизоотические очаги африканки среди домашних свиней в с. Маловидное и с. Угловое Бахчисарайского района. Проводятся ликвидационные мероприятия и устанавливаются пути заноса вируса на данную территорию. Более наглядно эпизоотическая ситуация по африканской чуме свиней за период 2016-2024 гг. представлена на рисунке 2.

Поскольку в Крыму имеется природная популяция клещей рода *Ornithodoros* и диких кабанов, то заболеваемость животных дикой фауны может способствовать формированию природной очаговости африканки в Республике Крым.

Создавшаяся ситуация обязывает ветеринарную службу полуострова проводить целенаправленную профилактическую работу против АЧС в благополучных районах с целью недопущения дальнейшего распространения инфекции.

В свиноводческих хозяйствах всех форм собственности целесообразно заблаговременно организовать и в дальнейшем поддерживать выполнение следующих мероприятий:

Проводить просветительскую и разъяснительную работу среди населения и персонала с информацией о возможных путях заноса и распространения возбудителя АЧС в благополучные зоны; довести

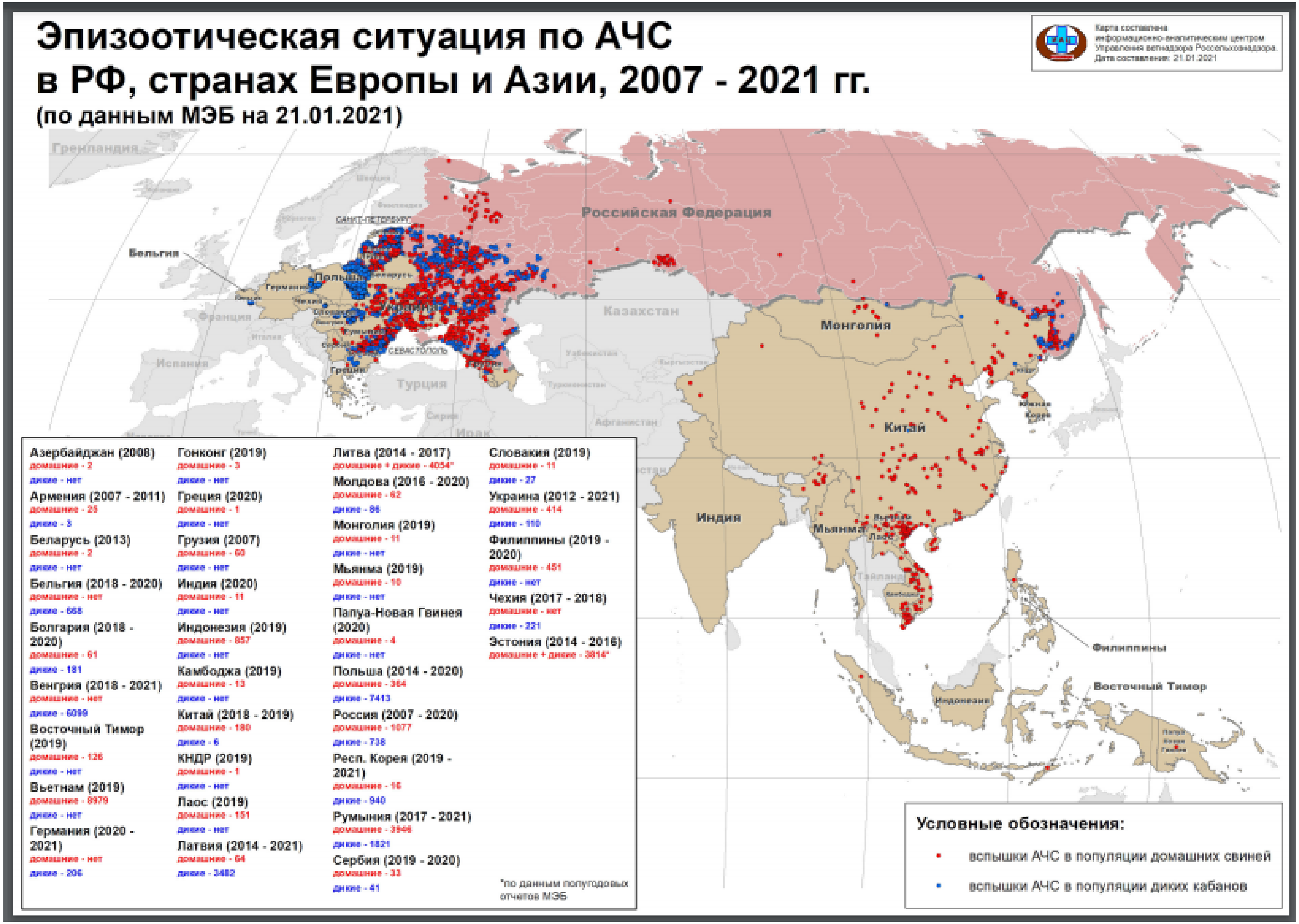


Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по африканской чуме свиней в РФ, странах Европы и Азии [13]

Fig. 1. Epizootic situation on African swine fever in the Russian Federation, European and Asian countries [13]

Таблица 1

Вспышки африканской чумы свиней на территории Республики Крым в 2016-2024 гг.

Районы	Годы																	
	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024	
	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабааны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны	Домашние свиньи	Дикие кабаны
Бахчисарайский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
Белогорский	1	-	2	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Джанкойский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кировский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Красногвардейский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Красноперекопский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ленинский	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нижнегорский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Первомайский	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Раздольненский	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сакский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Симферопольский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Советский	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Черноморский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
г. Севастополь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
г. Алушта/Ялта	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Керчь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Симферополь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Судак	-	-	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Феодосия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	7		15		4		-		-		-		-		1		1	

Table 1

Outbreaks of African swine fever on the territory of the Republic of Crimea in 2016-2024

Районы	Years																	
	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024	
	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars	Domestic pigs	Wild boars
Bakhchisarayskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
Belogorskiy	1	-	2	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dzhankoyskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kirovskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Krasnogvardeyskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Krasnoperekopskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leninskiy	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nizhnegorskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pervomaiskiy	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Razdolnenskiy	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sakskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simferopolskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sovetskiy	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chernomorskiy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sevastopol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alushta/Yalta	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kerch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simferopol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sudak	-	-	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feodosia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	7		15		4		-		-		-		-		1		1	

Рис. 2. Динамика эпизоотической ситуации по африканской чуме свиней в Республике Крым

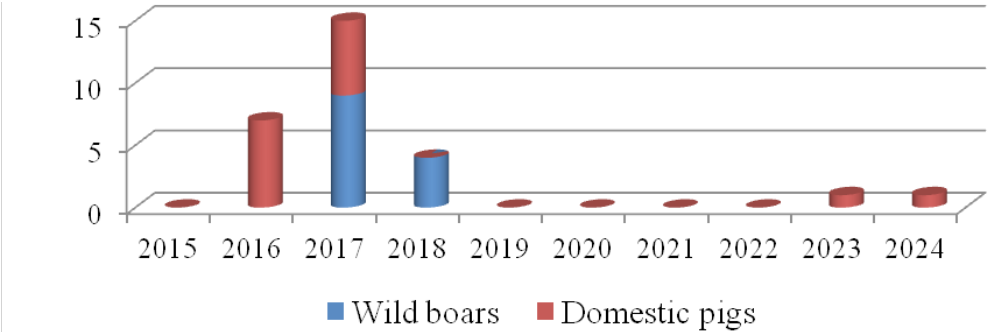


Fig. 2. Dynamics of the epizootic situation on African swine fever in the Republic of Crimea

до сведения граждан важность информирования ветеринарных специалистов обо всех случаях заболевания и гибели свиней в подсобных хозяйствах.

Свиней в частных подворьях и в КФХ содержать только безвыгульным способом; запретить свободный выгул животных вне помещений.

Проинспектировать состояние оградительных конструкций хозяйств и в случае необходимости произвести надлежащий ремонт.

Обеспечить бесперебойную работу дезбарьеров и не допускать въезд и выезд автомобильного транспорта из территории и на территорию хозяйств мимо дезбарьеров; кроме того, проводить дезинфекционную обработку транспорта.

На входе в животноводческие помещения необходимо организовать работу санпропускников, регулярно обеспечивать персонал несколькими комплектами спецодежды, которую нужно регулярно подвергать стирке и дезинфекции на территории фермы. Обслуживающий персонал обязан при входе на ферму проходить через санпропускник и находиться на рабочем месте в спецодежде. Входы во все помещения фермы должны быть оборудованы действующими дезковриками, дезинфицирующая жидкость в которых подлежит регулярной замене. Работники фермы также должны быть в полной мере обеспечены помещением для проведения личной гигиены и принятия пищи.

В хозяйстве ветеринарный врач должен ежедневно проводить тщательный клинический осмотр всего поголовья свиней с выборочной термометрией. Хозяева личных подворий также должны осматривать принадлежащих им животных и в случае недомогания последних немедленно сообщать в ветеринарную службу.

В случае возникновения массового заболевания свиней ветеринарные специалисты обязаны организовать отбор и доставку патологического материала для подтверждения диагноза, установленного эпизоотологическими, клиническими и патологоанатомическими методами и с учетом результатов проведенных исследований проводить дальнейшую работу.

Всех имеющихся в наличии хозяйств любых форм собственности свиней подвергать обязательной вакцинации против рожи и классической чумы.

Одним из основных факторов заноса возбудителя инфекции в хозяйство является введение в корм свиньям не обработанных термически пищевых отходов и отходов мясопереработки свиней. В хозяйствах всех форм собственности необходимо проводить закупку кормов только в благополучных по африканской чуме свиней предприятиях. Помещения, где хранятся и приготавливаются корма, должны быть соответственно оборудованы, не должно быть доступа к кормам мышей, крыс, синантропной птицы, домашних и бездомных животных. Должны предъявляться жесткие требования по качеству к воде, которая должна подвергаться очистке и обеззараживанию.

Необходимо четко контролировать движение животных внутри хозяйства и за его пределами. В случае необходимости комплектования поголовья привозными животными обязательным требованием выступает закупка их только из благополучных организаций с выдерживанием карантина не менее 30 суток с проведением всех диагностических исследований, подтверждающих благополучие животных.

В целях недопущения заноса вируса АЧС на благополучные территории необходимо

ограничить миграцию людей, особенно из неблагополучных областей. Люди должны быть проинформированы об опасности заноса возбудителя механически на одежде и обуви, а также продуктами свиного происхождения, особенно теми, которые не подвергались температурной обработке.

Во всех производственных помещениях хозяйств должны проводиться регулярная плановая дезинфекция, дезинсекция и дератизация с обязательным контролем их эффективности. На территорию фермы должен быть закрыт доступ диким и перелетным птицам, домашним и бездомным кошкам и собакам, а также животным, принадлежащим населению и обслуживающему персоналу.

Подворный убой свиней должен быть категорически запрещен. Убой животных должен проводиться только в специально оборудованном убойном пункте, который должен находиться за пределами животноводческих ферм.

Необходимым условием соблюдения требований по профилактике инфекционных болезней является организация обеззараживания навозной жижи, сточных вод и других отходов, которые должны подвергаться обеззараживанию. Один день недели должен обязательно быть санитарным. В этот день должна проводиться генеральная уборка производственных помещений и прилегающих к ним территорий с обязательным уничтожением разных видов мусора.

Выводы
Conclusions

В Республике Крым сложилась неоднозначная эпизоотическая ситуация по африканской чуме свиней. В 2016 г. были зарегистрированы вспышки АЧС в Раздольненском, Ленинском, Первомайском, Советском и Белогорском районах среди животных частного сектора. В 2017 г. в Белогорском районе были зафиксированы случаи заболевания АЧС среди и домашних и диких свиней, в Советском районе – только у домашних животных, а в городских округах Алушта и Судак – только среди диких кабанов. В 2018 г. отмечали вспышки АЧС среди диких животных в Белогорском районе и в г. Судаке, а зимой 2023 г. и весной 2024 г. в Бахчисарайском районе – среди домашних животных.

Наличие на территории Крыма популяций диких свиней и клещей рода *Ornithodoros*, а также случаев заболевания диких кабанов АЧС позволяет говорить о возможном формировании природной очаговости инфекции.

Возникновение свежих очагов АЧС в некоторых районах Крымской Республики и на сопредельных территориях, неконтролируемое передвижение диких и домашних животных, а также деятельность человека являются основными факторами заноса возбудителя в благополучные хозяйства.

Список источников

1. Джаилиди Г.А., Черных О.Ю., Шевченко А.А., Черных В.О. Изучение эпизоотологических особенностей африканской чумы свиней в Краснодарском крае // *Ветеринария и кормление*. 2013. № 5. С. 19-20. EDN: RCBGMB

2. Герасимов В.Н., Мужжавлев Е.Ф., Слугин А.В., Терентев С.Н. и др. Опыт ликвидации африканской чумы свиней в Ивановской области // *Ветеринария.* 2014. № 11. С. 11-15. EDN: SXSVZJ

3. Макаров В.В., Сухарев О.И., Литвинов О.Б. Вирус африканской чумы свиней: устойчивость, выживаемость, деконтаминация // *Ветеринария*. 2012. № 9. С. 23-25. EDN: PDSLXT

4. Санчес-Вискаино Х.М. Африканская чума свиней: исследование // Здоров'я тварин і ліки. 2010. № 10. С. 13-15

5. Селянинов Ю.О., Егорова И.Ю., Прудникова Е.Ю. и др. Изучение обеззараживающего действия некоторых физических и химических факторов на вирус АЧС // *Свиноводство*. 2014. № 1. С. 63-65. EDN: RTIYYR

6. Гуленкин В.М., Клиновицкая И.М., Караулов А.К., Иголкин А.С. Экономические последствия распространения африканской чумы свиней в Российской Федерации // *Ветеринария.* 2015. № 12. С. 7-11. EDN: VBCQWH

7. Тарасов В.И., Ивойлова И.В., Именная Е.А., Именная А.А. Экономические аспекты распространения африканской чумы свиней и ее

References

1. Dzhailidi G.A., Chernykh O.Yu., Shevchenko A.A., Chernykh V.O. Study of epizootologic features of African swine fever in Krasnodar Krai. *Veterinaria i Kormlenie*. 2013;5:19-20. (In Russ.)

2. Gerasimov V.N., Muzhzhavlev E.F., Slugin A.V., Terent'ev S.N. et al. Experience the eradication of African swine fever in the Ivanovo region. // *Veterinary Medicine.* 2014;11:11-15. (In Russ.)

3. Makarov V.V., Sukharev O.I., Litvinov O.B. African swine fever virus: resistance, persistence, decontamination. *Veterinary Medicine.* 2012;9:23-25. (In Russ.)

4. Sanchez-Vizcaino H.M. African swine fever: a study. *Zdorov'ya tvarin i liki.* 2010;10:13-15. (In Russ.)

5. Selyaninov Yu.O., Egorova I.Yu., Prudnikova E.Yu., Polyakov V.S. et al. Analysis of a disinfecting effect of some physical and chemical factors upon ASF virus. *Svinovodstvo.* 2014;5:63-65. (In Russ.)

6. Gulenkin V.M., Klinovitskaya I.M., Karaulov A.K., Igolkin A.S. THE Economic impact due to spread of African swine fever in Russian Federation. *Veterinary Medicine.* 2015;12:7-11. (In Russ.)

7. Tarasov V.I., Ivoylova I.V., Imennaya E.A., Imennaya A.A. Economic aspects of distribution of African swine fever and its elimination. *Journal of Economy*

ликвидации // *Экономика и бизнес*: *теория и практика.* 2020. № 9-2 (67). С. 99-103. http://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10737

8. Громыко Е.В., Шевченко А.А., Гринь В.А., Черных О.Ю. Африканская чума свиней в Краснодарском крае // *Ветеринария Кубани*. 2012. № 1. С. 3-4. EDN: OZCOFJ

9. Макаров В.В., Барсуков Ю.И. Эпизоотический процесс африканской чумы свиней // *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2022. № 4 (56). С. 8-14. http://doi.org/10.24412/2074-5036-2022-4-8-14

10. Макаров В.В., Сухарев О.И., Гаврюшкин Д. и др. Дикий европейский кабан. Природная очаговость африканской чумы свиней // *Ветеринария*. 2010. № 9. С. 24-28. EDN: MUGZRJ

11. Джаилиди Г.А., Черных О.Ю., Шевкопляс В.Н., Алипер Т.И. и др. Комплексный подход к диагностике африканской чумы свиней // *Ветеринария.* 2015. № 9. С. 9-15. EDN: UHJTRR

12. Бакулов И.А. *Рекомендации по методике эпизоотологического исследования*: *Справочник*. Покров, 1975. 75 с. EDN: QAJCBV

13. Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации Сводное информационное сообщение об эпизоотической ситуации в Российской Федерации за период с 24 по 30 декабря 2021 года. URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/operativnye-informacionnye-soobshhenija/238424-2/?ysclid=m3eik6mkrm758825834

and Business: *Theory and Practice.* 2020;9-2(67):99-103. (In Russ.) http://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10737

8. Gromyko E.V., Shevchenko A.A., Grin V.A., Chernykh O.Yu. *et al.* African swine fever in the Krasnodar Krai. *Veterinariya Kubani.* 2012;1:3-4. (In Russ.)

9. Makarov V.V., Barsukov Yu.I. Epizootic process of African swine fever. *Aktualnye voprosy veterinarnoy biologii.* 2022;4(56):8-14. (In Russ.) http://doi.org/10.24412/2074-5036-2022-4-8-14

10. Makarov V.V., Sukharev O.I., Gavryushkin D., Boev B.V. et al. Wild boar. African swine fever natural nidity. *Veterinary Medicine*. 2010;9:24-28. (In Russ.)

11. Dzhailidi G.A., Chernykh O.Yu., Shevkoplyas V.N., Aliper T.I. et al. Integrated approach to the diagnosis of African swine fever. *Veterinary Medicine.* 2015;9:9-15. (In Russ.)

12. Bakulov I.A. *Recommendations on the methodology of epizootologic research*: a reference book. Pokrov, USSR: Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy institut veterinarnoy virusologii i mikrobiologii RASKhN, 1975:75. (In Russ.)

13. Epizootic situation in the Russian Federation 2021. Summary information message on the epizootic situation in the Russian Federation for the period from December 24 to December 30, 2021. (In Russ.) URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/rossija/operativnye-informacionnye-soobshhenija/238424-2/?ysclid=m3eik6mkrm758825834

Сведения об авторах

Нина Валериевна Воложанинова, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры микробиологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Институт «Агротехнологическая академия», Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; 295492, п. Аграрное, Крым, Россия; e-mail: ya.volojaninova@yandex.ru

Ирина Анатольевна Гуренко, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры анатомии и физиологии, Институт «Агротехнологическая академия», Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; 295492, п. Аграрное, Крым, Россия; e-mail: gur1976@yandex.ru

Елена Анатольевна Белявцева, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры анатомии и физиологии животных, Институт «Агротехнологическая академия», Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; 295492, п. Аграрное, Крым, Россия; e-mail: elena2010simf@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.09.2024
Одобрена после рецензирования 20.09.2024
Принята к публикации 29.09.2024

Information about the authors

Nina V. Volozhaninova, candidate of veterinary sciences, associate professor, associate professor of the department of microbiology, epizootology and veterinary and sanitary expertise “Agrotechnological Academy” “Crimean Federal University V.I. Vernadsky”, e-mail: ya.volojaninova@yandex.ru, 299000, Republic of Crimea, Simferopol, Agrarnoe, Institute “Agrotechnological Academy” FGAOU VO “KFU named after V.I. Vernadsky””.

Irina A. Gurenko, candidate of veterinary sciences, associate professor of department of anatomy and animal physiology Institute “Agrotechnological Academy” “Crimean Federal University V.I. Vernadsky”, e-mail: gur1976@yandex.ru, 299000, Republic of Crimea, Simferopol, Agrarnoe, Institute “Agrotechnological Academy” FGAOU VO “KFU named after V.I. Vernadsky”.

Elena A. Belyavtseva, candidate of veterinary sciences, associate professor of department of anatomy and animal physiology Institute “Agrotechnological Academy” “Crimean Federal University V.I. Vernadsky”, e-mail: elena2010simf@mail.ru, 299000, Republic of Crimea, Simferopol, Agrarnoe, Institute “Agrotechnological Academy” FGAOU VO “KFU named after V.I. Vernadsky”.

The article was submitted to the editorial office September 01, 2024
Approved after reviewing September 20, 2024
Accepted for publication September 29, 2024

ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 631.95: 633.13: 631.8
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-44-51

Агроэкологическая и экономическая оценка применения нетрадиционных удобрений в посевах овса

Леонова Юлия Валерьевна[1], Овчаренко Ярослав Эдуардович[1], Тихонова Мария Васильевна[2]

[1] Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева, Калуга, Россия
[2] Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Тихонова Мария Васильевна; tmv@rgau-msha.ru

Аннотация
Актуальность темы исследований обусловлена необходимостью решения проблемы утилизации отходов – в частности, осадков городских сточных вод, а также поиском путей повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Обе задачи могут быть решены путем использования осадков сточных вод в качестве удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур. При этом почвенный путь утилизации осадков сточных вод в сравнении с традиционными способами более экономичен и не требует дополнительных площадей, однако он ведет к накоплению в получаемой продукции тяжелых металлов, что в свою очередь требует принятия мер по обеспечению их содержания не выше ПДК. Представленная статья содержит результаты анализа применения нетрадиционных удобрений (осадков сточных вод и препарата «Гумитон») при выращивании овса, а также получаемых при этом показателей экологической и экономической эффективности. Рассмотрены используемые виды нетрадиционных удобрений и их основные характеристики. Отмечается, что осадки сточных вод по своему составу приближаются к другим видам органических удобрений. Препарат «Гумитон» является оригинальной разработкой на основе торфа. Приведены результаты применения указанных нетрадиционных удобрений и показатели, их характеризующие, – такие, как урожайность, качество зерна, содержание в зерне тяжелых металлов. Рассматривается, в том числе, влияние нетрадиционных удобрений на урожайность овса, качество зерна, содержание в зерне тяжелых металлов. Также сопоставляется получаемый при применении нетрадиционных удобрений экономический эффект. В статье отмечается, что в целом влияние нетрадиционных удобрений на получаемую продукцию является положительным, зерно экологически безопасно. Также целесообразность их использования подтверждается полученным экономическим эффектом. Определены сочетания использования традиционных и нетрадиционных удобрений, позволяющие максимизировать экономические показатели и обеспечить необходимый уровень качества зерна.

Ключевые слова
нетрадиционные удобрения, осадки сточных вод, «Гумитон», тяжелые металлы, овес, урожайность

Для цитирования
Леонова Ю.В., Овчаренко Я.Э., Тихонова М.В. Агроэкологическая и экономическая оценка применения нетрадиционных удобрений в посевах овса // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 44-51. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-44-51

ECOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-44-51

Agroecological and economic assessment of non-traditional fertilizer application in oat crops

Julia V. Leonova[1], Yaroslav E. Ovcharenko[1], Marya V. Tikhonova[2]

[1] Kaluga Branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Kaluga, Russia
[2] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Maria V. Tikhonova; tmv@rgau-msha.ru

Abstract
The relevance of the research topic is due to the need to solve the problem of waste disposal, especially urban sewage sludge, as well as the search for ways to improve the efficiency of agricultural production. Both tasks can be solved

by using sewage sludge as a fertilizer for growing crops. At the same time, soil disposal is more economical than traditional methods and does not require additional land, but it leads to accumulation of heavy metals in the resulting products, which in turn requires measures to ensure that their content does not exceed the MAC. The article contains the results of the analysis of the use of non-traditional fertilizers (sewage sludge and Humiton preparation) in oat cultivation, as well as the resulting indicators of environmental and economic efficiency. Used types of non-traditional fertilizers and their main characteristics are considered. It is noted that sewage sludge in its composition is close to other types of organic fertilizers. Humiton preparation is an original development on the basis of peat. The results of application of the mentioned non-traditional fertilizers and the indicators characterizing them, such as yield, grain quality, content of heavy metals in grain, are presented. The influence of non-traditional fertilizers on oat yield, grain quality, heavy metal content in grain is considered. The economic efficiency obtained by using non-traditional fertilizers is also compared. The article concludes that, in general, the effect of non-traditional fertilizers on the resulting products is positive, the grain is environmentally safe. The expediency of their use is also confirmed by the economic effect obtained. Combinations of application of traditional and non-traditional fertilizers, which allow to maximize economic indicators and to ensure the required level of grain quality, are determined.

Keywords
non-traditional fertilizers, sewage sludge (SS), Humiton, heavy metals, oats, yield

Conflict of interests
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Leonova J.V., Ovcharenko Ya.E., Tikhonova M.V. Agroecological and economic assessment of non-traditional fertilizer application in oat crops. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):44-51. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-44-51

Введение
Introduction

В современный период важнейшей проблемой, стоящей перед человеческим обществом, является рост объемов отходов, к которым относятся, в том числе, осадки городских сточных вод (ОСВ). Для их утилизации и обеззараживания могут применяться различные способы, наиболее распространенным среди которых является захоронение на полигонах. Использование этого способа сопряжено с рядом недостатков: в частности, полигоны могут занимать значительные площади с их последующим отчуждением, в теле полигона образуется свалочный фильтрат, в дальнейшем загрязняющий поверхностные и подземные воды и являющийся опасным для окружающей среды и здоровья людей. Также полноценная утилизация отходов требует высоких затрат.

В этой связи применительно к осадкам сточных вод могут использоваться альтернативные способы их утилизации – такие, как внесение в почву в качестве удобрений [1]. Осадки сточных вод по своему составу приближаются к другим видам органических удобрений, содержание элементов питания растений в них составляет по азоту общему 2,4-3,3%, по фосфору – 5,5-6,7%, по калию – 0,4-0,6%. Содержание органических веществ в них составляет около 45% [2, 3].

Серьезной проблемой, ограничивающей возможности использования осадков сточных вод в качестве удобрений, является наличие в них примесей токсичных органических и минеральных веществ – в частности, соединений тяжелых металлов. Поэтому применяя ОСВ как удобрения, необходимо определять пути снижения количества поступающих тяжелых металлов в получаемую продукцию [4, 5]. В числе таких путей – применение цеолитов и органических удобрений, проведение известкования и глинования почвы, возделывание технических культур. Также может применяться так называемое «биологическое разбавление», при котором один и тот же объем тяжелых металлов приходится на большее количество получаемой продукции, что снижает их концентрацию до предельно допустимого уровня [6].

В свою очередь, обеспечить рост урожайности можно за счет традиционных способов – прежде всего таких, как использование научно-обоснованных систем земледелия, внесение удобрений и препаратов, положительно влияющих на растения и их рост [7]. К числу таких препаратов относятся препараты, разработанные на основе гуминовых кислот и выступающие как естественные регуляторы роста растений – такие, как «Гумитон» [8, 9].

«Гумитон» является высокоэффективным органоминеральным удобрением, созданным на основе биологически активных компонентов торфа. Он содержит следующие вещества (в процентном выражении): N – 10-12%; P2O5-20-24%; K2O – 27-30%; Ca – 0,5%; Mg – 0,2%; B – 0,2%; Mo – 0,1%; Mn – 0,1%. Также «Гумитон» содержит около 20% органических веществ, в том числе водорастворимые гуматы калия в объеме 11-14%. Основным сырьем для производства являются препараты низинные торфа, в качестве гуматсодержащего сырья используются бурый уголь и сапропель. Применение органоминерального комплекса «Гумитон» повышает иммунитет растений, эффективность корневого питания, в результате повышаются

урожайность и качество производимой сельскохозяйственной продукции [8].

Цель исследований: провести анализа применения нетрадиционных удобрений (осадков сточных вод и препарата «Гумитон») при выращивании овса, а также получаемых при этом показателей экологической и экономической эффективности.

Методика исследований
Research method

В ходе исследований применялось внесение NPK, осадков сточных вод (отдельно), препарата «Гумитон» (отдельно), NPK и препарата «Гумитон» совместно, осадков сточных вод и препарата «Гумитон» совместно при выращивании зерновых культур (овес сорта «Привет»). Проведена оценка таких показателей, как урожайность, качество зерна овса, содержание в зерне тяжелых металлов. Также оценивалась экономическая эффективность применения нетрадиционных удобрений и препарата «Гумитон» с помощью показателей чистого дохода и уровня рентабельности.

Препаратом «Гумитон» проводилась поверхностная (листовая) обработка вегетирующих растений методом опрыскивания в фазах кущения-выхода в трубку. Норма внесения составляла 1 л препарата в расчете на 300 л воды на 1 га. Осадки сточных вод вносились в почву перед весенней вспашкой в объеме 15 т/га сухого вещества. В соответствии с протоколом испытаний ОСВ содержали тяжелые металлы в следующей концентрации: свинец – 27,78 ± 3,33 мг/кг, кадмий – 7,75 ± 0,93 мг/кг.

Содержание тяжелых металлов в зерне овса определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с атомизацией в графитовой печи с предварительной минерализацией пробы при повышенном давлении в Тульской испытательной лаборатории ФГБУ «ВНИИЗЖ». Оценка качества зерна проводилась инфракрасным анализатором ИНФРАСКАН-105, путем измерения коэффициентов диффузного отражения специально подготовленных проб анализируемого вещества в ближней инфракрасной области спектра и последующего расчета определяемых показателей по градуировочным уровням. Полевой опыт проводился на Опытном поле Калужского филиала РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Опыт был заложен в 3-кратной повторности, расположение делянок – трехъярусное, размещение вариантов опыта – систематическое.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Результаты анализа влияния нетрадиционных удобрений (осадков сточных вод и органоминерального препарата «Гумитон») на урожайность овса в сравнении с контрольным вариантом и применением NPK представлены на рисунке 1.

Применение органоминерального препарата «Гумитон» позволило увеличить урожайность зерна на 27,9%, ОСВ – на 54%. Максимальная урожайность зерна овса была получена при совместном применении NPK и препарата «Гумитон». В данном варианте она составила 23,6 ц/га, что на 112,6% выше урожайности в контрольном варианте (без внесения удобрений).

Проведем анализ качественных показателей зерна в разных вариантах (табл. 1).

Приведенные в таблице 1 данные о качестве зерна овса свидетельствуют о том, что наибольшее содержание белка наблюдалось при использовании препарата «Гумитон». Совместное применение препарата «Гумитон» и осадков сточных вод дало практически тот же результат. Максимальное содержание клетчатки в зерне получено при использовании осадков сточных вод, также близкие

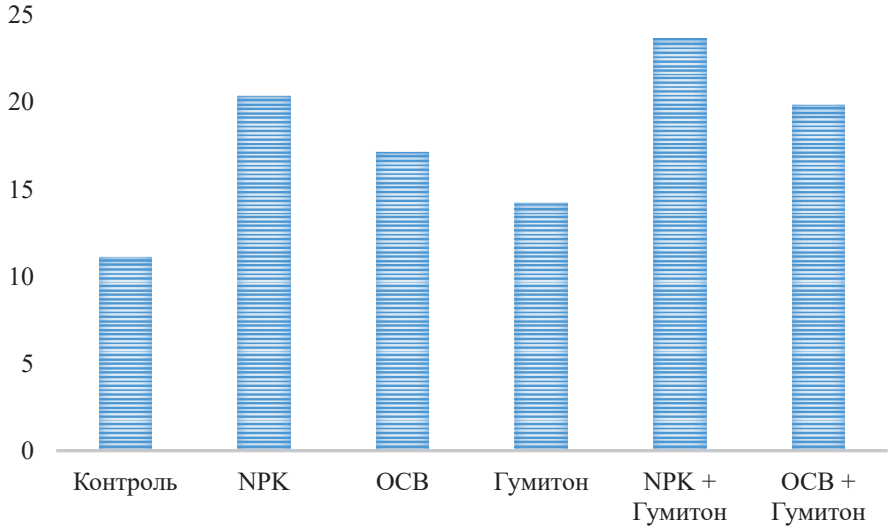


Рис. Влияние нетрадиционных удобрений на урожайность овса, ц/га

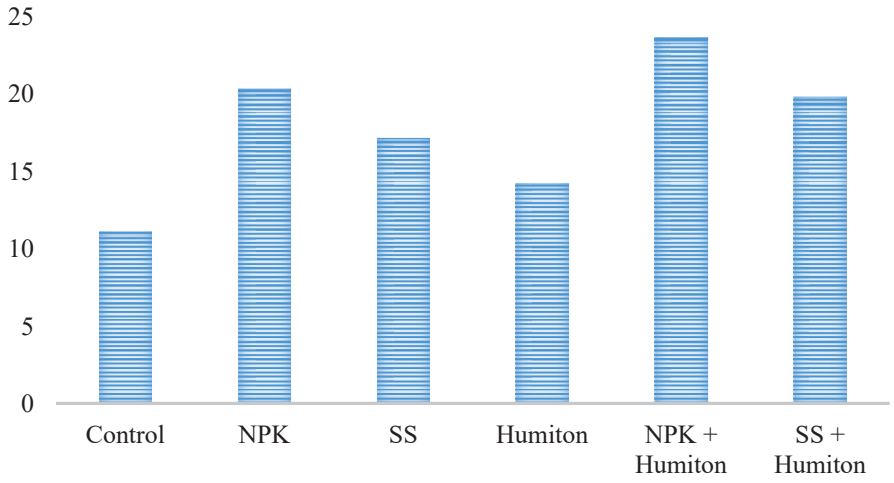


Fig. Effect of non-traditional fertilizers on oat yields, hwt/ha

Таблица 1

Качество зерна овса в условиях применения нетрадиционных удобрений

Вариант опыта	Показатели		
	Белок, %	Клетчатка, %	Зола, %
Контроль	7,2	11,9	4,5
ОСВ	7,1	12,0	4,2
Гумитон	7,6	11,7	4,8
ОСВ + Гумитон	7,2	11,6	4,6
$НСР_{05}$	0,1	0,3	0,1

Table 1

Oat grain quality when applying non-traditional fertilizers

A variant of the experiment	Indicators		
	Protein, %	Fiber, %	Ash, %
Control	7.2	11.9	4.5
SS	7.1	12.0	4.2
Humiton	7.6	11.7	4.8
SS + Humiton	7.2	11.6	4.6
SSD_{05}	0.1	0.3	0.1

результаты получены при совместном использовании ОСВ и «Гумитона». Похожим образом изменяется по вариантам содержание золы в зерне: максимальное значение – 4,8% при использовании препарата «Гумитон».

В результате испытаний зерна овса на предмет содержания тяжелых металлов получены данные, отраженные в таблице 2.

При использовании в качестве удобрения осадков сточных вод в зерне овса обнаруживаются тяжелые металлы в концентрации ниже допустимого уровня. Содержание кадмия составляет 0,04 мг/кг, что в 2,5 раза ниже допустимого уровня; содержание свинца также меньше предельно допустимого уровня на 28% и составляет 0,36 мг/кг. При совместном применении органоминерального препарата «Гумитон» и осадков сточных вод содержание тяжелых металлов в зерне овса уменьшается до значений ниже уровня, определение которого обеспечивает данный метод.

Важнейшим экономическим результатом хозяйственной деятельности является чистый доход, или прибыль, получаемая после реализации произведенной продукции. Применение удобрений нетрадиционных типов также направлено на повышение экономических результатов. В настоящих исследованиях проведен анализ показателей экономической эффективности использования осадков сточных вод в качестве удобрений, в том числе в сочетании с препаратом «Гумитон», а также применения препарата «Гумитон» отдельно и в сочетании с NPK (табл. 3). Цена реализации продукции принята одинаковой для всех вариантов и составляет 2300 руб/ц.

По данным таблицы, наибольшая урожайность была достигнута при использовании в качестве удобрения NPK в сочетании с обработкой препаратом «Гумитон» – 23,6 ц/га. Несколько меньшее значение урожайности достигнуто при использовании только NPK – 20,3 ц/га. Также в варианте использования NPK + «Гумитон» были понесены наибольшие производственные затраты, которые составили 3976,36 тыс. руб. При этом значение чистого дохода в данном варианте составило 1451,64 тыс. руб. Но максимальный уровень рентабельности получен при использовании только препарата «Гумитон» – 45,7%. Уровень рентабельности более точно отражает эффективность использования каждой единицы ресурса – в данном случае стоимостной единицы затрат на выращивание овса, тогда как общий экономический эффект больше в другом варианте за счет большей урожайности и максимальной стоимости валовой продукции. Минимальное значение чистого дохода (382,15 тыс. руб.) получено при использовании ОСВ. Это значение меньше, чем чистый

Таблица 2

Результаты испытаний зерна на предмет содержания тяжелых металлов при применении нетрадиционных удобрений

Тяжелый металл	Результат испытания по вариантам опыта, мг/кг		Погрешность (неопределенность)	Норматив, мг/кг
	ОСВ	контроль, ОСВ + Гумитон		
Кадмий	0,04	не обнаружено на уровне определения метода (менее 0,03)	± 0,01	≤ 0,1
Свинец	0,36	не обнаружено на уровне определения метода (менее 0,08)	± 0,14	≤ 0,5

Table 2

Results of grain testing for heavy metal content when applying non-traditional fertilizers

Heavy metal	The result of the test according to the variants of the experiment, mg/kg		Error (uncertainty)	Standard, mg/kg
	SS	control, SS + Humiton		
Cadmium	0.04	not detected at the method definition level (less than 0.03)	± 0.01	≤ 0.1
Plumbum	0.36	not detected at the method definition level (less than 0.03)	± 0.14	≤ 0.5

Таблица 3

Экономическая эффективность применения нетрадиционных удобрений

Показатель	1	2	3	4	5	4
	Контроль	NPK	ОСВ	Гумитон	NPK + Гумитон	ОСВ + Гумитон
1. Урожайность, всего, ц/га	11,10	20,30	17,10	14,20	23,60	19,80
2. Площадь, га	100	100	100	100	100	100
3. Валовый сбор, всего, ц	1110	2030	1710	1420	2360	1980
4. Производственные затраты, тыс. руб.	2110,62	3837,02	3550,85	2241,60	3976,36	3571,43
5. Себестоимость 1 ц продукции, руб.	1901,46	1890,16	2076,52	1578,59	1684,90	1803,75
6. Цена продукции, руб/ц	2300	2300	2300	2300	2300	2300
7. Стоимость валовой продукции, всего, тыс. руб.	2553	4669	3933	3266	5428	4554
8. Чистый доход, тыс. руб.	442,38	831,98	382,15	1024,40	1451,64	982,57
9. Уровень рентабельности, %	21,0	21,7	10,8	45,7	36,5	27,5

Table 3

Economic efficiency of non-traditional fertilizer application

Indicator	1	2	3	4	5	4
	Control	NPK	SS	Humiton	NPK + Humiton	SS + Humiton
1. Total yield, hwt/ha	11.10	20.30	17.10	14.20	23.60	19.80
2. Area, ha	100	100	100	100	100	100
3. Total gross harvest, hwt	1110	2030	1710	1420	2360	1980
4. Production costs, thousand. RUB	2110.62	3837.02	3550.85	2241.60	3976.36	3571.43
5. The cost of 1 hundredweight of products, RUB.	1901.46	1890.16	2076.52	1578.59	1684.90	1803.75
6. Product price, RUB/hwt	2300	2300	2300	2300	2300	2300
7. The cost of gross output total, thousand. RUB	2553	4669	3933	3266	5428	4554
8. Net income, thousand. RUB	442.38	831.98	382.15	1024.40	1451.64	982.57
9. Level of profitability, %	21.0	21.7	10.8	45.7	36.5	27.5

доход в контрольном варианте, когда он составил 442,38 тыс. руб. Также при использовании только ОСВ получен минимальный уровень рентабельности – 10,8%. Это связано с тем, что использование ОСВ вызывает существенный рост затрат (на 68,2%). При этом валовый сбор зерна возрастает в меньшей степени – на 54%, то есть внесение ОСВ без использования других удобрений или препаратов экономически нецелесообразно. С точки зрения максимизации валового сбора зерна и чистого дохода на посевах овса наиболее выгодно применять сочетание NPK + «Гумитон», а исходя из наибольшего уровня рентабельности – только препарат «Гумитон». Также можно отметить, что высокие значения урожайности не всегда означают получение столь же высоких значений показателей экономической эффективности, поскольку сопряжены со значительными затратами на удобрения и препараты, отдача от которых не покрывает затрат на их приобретение, доставку и внесение.

Выводы
Conclusions

Использование ОСВ в качестве удобрения является весьма перспективным, так как позволяет снизить нагрузку на полигоны и одновременно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Ограничивающим фактором для их использования является содержание в ОСВ ТМ. При совместном применении ОСВ и органоминерального удобрения «Гумитон» в зерне овса ТМ не обнаруживаются, отмечена наибольшая урожайность исследуемой культуры. Максимальное содержание белка и зольных элементов в зерне овса выявлено при применении «Гумитона». При совместном применении нетрадиционных удобрений показатели качества зерна остаются на уровне контрольного варианта (без применения удобрений). Анализ экономической эффективности показывает, что с точки зрения максимизации чистого дохода следует применять сочетание NPK + «Гумитон», а наибольшее значение уровня рентабельности получается при использовании только препарата «Гумитон».

Список источников

1. Васильева В.А., Сюняев Н.К., Филиппова А.В. Сравнительная эффективность доз применения осадков сточных вод при создании обыкновенных газонов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2014. № 5 (49). С. 157-158. EDN: TBRQQZ

2. Леонова Ю.В., Слипец А.А. Агроэкологическая оценка влияния нетрадиционных удобрений на состояние плодородия дерново-подзолистых супесчаных почв Калужской области // *Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства*: *Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Александра Филипповича Тимофеева, Киров, 26-27 февраля 2019 г*. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. Ч. 2. С. 167-171. EDN: OKQXDY

3. Леонова Ю.В., Сюняева О.И. Агроэкологическая оценка применения отходов быта и производства в качестве удобрения овса // *Доклады ТСХА*: *Материалы Международной научной конференции, посвященной 175-летию К.А. Тимирязева, Москва, 6-8 декабря 2018 г*. Вып. 291. Ч. IV. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. С. 674-678. EDN: LZGKCL

4. Кокорева В.В., Сюняева О.И., Слипец А.А. Влияние нетрадиционных удобрений на параметры плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы // *Материалы научно-практической конференции КФ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с международным участием, Калуга, 25 апреля 2018 г*. Калуга: ИП Якунин Алексей Викторович, 2018. Т. 12. С. 62-64. EDN: VMEZTI

References

1. Vasilyeva V.A., Syunyaev N.K., Filippova A.V. Comparative effectiveness of doses of sewage sediments applied in tending of common lawns. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2014;5(49):157-158. (In Russ.)

2. Leonova Yu.V., Slipets A.A. Agroecological assessment of the effect of non-traditional fertilizers on the fertility of sod-podzolic sandy loam soils of the Kaluga region. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskay konferentsiya, posvyashchonnaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Aleksandra Filippovicha Timofeeva 'Melioratsiya pochv dlya ustoychivogo razvitiya selskogo khozyaystva'. February 26-27, 2019.* Kirov, Russia: Vyatka State Agrotechnological University, 2019:167-171. (In Russ.)

3. Leonova Yu.V., Syunyaeva O.I. Agroecological assessment of the use of household and industrial waste as fertilizer for oats. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 175-letiyu K.A. Timiryazeva. December 06-08, 2018.* Moscow, Russia: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2019:674-678. (In Russ.)

4. Kokoreva V.V., Syunyaeva O.I., Slipets A.A. Effect of non-traditional fertilizers on the fertility parameters of sod-podzolic sandy loam soil. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya KF RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva s mezhdunarodnym uchastiyem. April 25, 2018.* Kaluga, Russia: IP Yakunin Aleksey Viktorovich, 2018;12:62-64. (In Russ.)

5. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Первушина Н.К. Приемы снижения техногенного загрязнения в агроландшафтах // *Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия*: *Сборник докладов XV Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 28-29 мая 2020 г.* Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2020. С. 300-305. EDN: MVSDYB

6. Сулиман С.А., Абрамов А.Г., Шаламова А.А. Влияние регуляторов роста на качество плодов томата // *Овощи России*. 2020. № 1. С. 54-57. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-54-57

7. Мишустин А.О., Щукин В.Б., Павлова О.Г., Ильясова Н.В. Формирование урожая яровой пшеницы при использовании регуляторов роста и удобрений на основе гуминовых кислот в технологии ее возделывания // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. № 1 (93). С. 9-14. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-9-14

8. Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Арышева С.П., Семешкина П.С. Влияние нового органоминерального комплекса «Гумитон» на продуктивность и качество зерновых культур на различных типах почв // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 4 (195). С. 29-37. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-195-4-29-37

9. Бузылев А.В., Александров Н.А. Агроэкологическая оценка потенциала использования старопахотных земель с применением it-технологий на основе системы поддержки принятия решений // *Агрохимический вестник*. 2023. № 6. С. 84-88. https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-6-016

5. Petrova L.I., Mitrofanov Yu.I., Pervushina N.K. Techniques for reducing man-made pollution in agricultural landscapes. *XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Kurskogo otdeleniya MOO "Obshchestvo pochvovedov imeni V.V. Dokuchayeva" 'Aktualnye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya'. May 28-29, 2020.* Kursk, Russia: FGBNU "Kurskiy FANTS", 2020:300-305. (In Russ.)

6. Suliman A.A., Abramov A.G., Shalamova A.A. Effects of growth regulators on the quality of tomato fruits. *Vegetable Crops of Russia*. 2020;1:54-57. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-54-57

7. Mishustin A.O., Shchukin V.B., Pavlova O.G., Ilyasova N.V. Formation of the harvest of spring wheat when using growth regulators and fertilizers based on humic acids in the technology of its cultivation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2022;1(93):9-14. (In Russ.) https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-9-14

8. Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Aryshe-va S.P., Semeshkina P.S. Effect of new organic-mineral complex "Gumiton" on the productivity and quality of crops on different soil types. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2020;4(195):29-37. (In Russ.) https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-195-4-29-37

9. Buzylev A.V., Aleksandrov N.A. Agroecological assessment estimation of potential of old-arable lands use with application of IT-technologies based on DSS. *Agrochemical Herald.* 2023;6:84-88. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-6-016

Сведения об авторах

Юлия Валерьевна Леонова, доцент, кандидат биологических наук, Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева; 248007, Россия, Калужская обл., г. Калуга, ул. Вишневского, д. 27; e-mail: natrolit@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-7522-5288

Ярослав Эдуардович Овчаренко, доцент, кандидат экономических наук, Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева; 248007, Россия, Калужская обл., г. Калуга, ул. Вишневского, д. 27; e-mail: sonado@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-0603-5653

Мария Васильевна Тихонова, заведующая кафедрой экологии, кандидат биологических наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tmv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9422-5846

Статья поступила в редакцию 06.08.2024
Одобрена после рецензирования 28.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

Information about the authors

Julia V. Leonova, CSc (Bio), Associate Professor, Kaluga Branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo St., Kaluga, 248007, Russian Federation); e-mail: natrolit@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-7522-5288

Yaroslav E. Ovcharenko, CSc (Econ), Associate Professor, Kaluga Branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo St., Kaluga, 248007, Russian Federation); e-mail: sonado@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0603-5653

Marya V. Tikhonova, CSc (Bio), Assistant Professor, Acting Head of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: tmv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9422-5846

The article was submitted to the editorial office August 06, 2024
Approved after reviewing August 28, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 630*5(470-25)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-52-60

Экологическая оценка состояния древостоя на территории природно-исторического парка «Царицыно»

Мария Васильевна Тихонова, Алексей Вячеславович Бузылёв, Ярослава Сергеевна Жигалева, Елена Михайловна Илюшкова, Марина Тудоровна Спыну, Никита Александрович Александров, Надежда Владимировна Гавриловская

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Мария Васильевна Тихонова; tmv@rgau-msha.ru

Аннотация
Парки и зеленые зоны в крупных городах являются значимыми объектами не только для туризма и отдыха людей – они выполняют важные экологические функции, очищая воздух от загазованности и запыленности, формируя благоприятный микроклимат и создавая тем самым каркас экологической безопасности городов. Важнейшим фактором состояния зеленых зон является экологическое состояние древостоя, который и формирует основной зеленый каркас. В статье рассматривается состояние древостоя в зависимости от расположения в ландшафте и интенсивности рекреационной нагрузки на территории исторического парка «Царицыно», его специфики как особо охраняемой природной территории. В работе приведены результаты оценки состояния растительности древесного яруса, определены проблемные участки и территории с ослабленным древостоем, даны рекомендации по уходу за насаждениями и минимизации воздействия на ослабленные деревья.

Ключевые слова
особо охраняемые природные территории, парк «Царицыно», экологическое состояние древостоя, рекреационная нагрузка

Благодарности
Авторы выражают благодарность директору музея-заповедника «Царицыно» Елизавете Фокиной и заведующей сектором экологического воспитания отдела музейно-образовательных программ и экскурсионного обслуживания Анне Пономаревой за помощь в проведении исследований.

Для цитирования:
Тихонова М.В., Бузылев А.В., Жигалева Я.С., Илюшкова Е.М., Спыну М.Т., Александров Н.А., Гавриловская Н.В. Экологическая оценка состояния древостоя на территории природно-исторического парка «Царицыно» // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 52-60. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-52-60

ECOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-52-60

Ecological assessment of forest stands in the Tsaritsyno Natural Historical Park

Marya V. Tikhonova, Aleksey V. Buzylev, Yaroslava S. Zhigaleva, Elena M. Iliushkova, Marina T. Spynu, Nikita A. Aleksandrov, Nadezhda V. Gavrilovskaya

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Maria V. Tikhonova; tmv@rgau-msha.ru

Abstract
Parks and green areas in large cities are very important objects, not only for tourism and recreation, but they also perform important ecological functions, clean the air from gases and dust, create a favorable microclimate, and thus create an environmentally friendly framework in cities. The most important factor in the condition of green areas is the ecological condition of forest stands, which form the main green framework. The article considers the condition of forest stands in dependence on the landscape and intensity of recreational load on the territory of the Tsaritsyno Historical Park and its specificity as a specially protected natural area. The article presents the results of the forest stand assessment, identifies problem areas and areas with weakened stands, gives recommendations for plant care and minimizing the impact on weakened trees.

Keywords
specially protected natural areas, Tsaritsyno Park, ecological condition of forest stands, recreational load

Acknowledgments
The authors are grateful to Elizaveta Fokina, Director of the Tsaritsyno Museum Reserve, and Anna Ponomareva, Head of the Environmental Education Section of the Department of Museum-Educational Programs and Excursion Services, for their assistance in conducting the research.

Conflict of interests
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Tikhonova M.V., Buzylev A.V., Zhigaleva Ya.S., Iliushkova E.M., Spynu M.T., Aleksandrov N.A., Gavrilovskaya N.V. Ecological assessment of forest stands in the Tsaritsyno Natural Historical Park. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(3):52-60. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-52-60

Введение
Introduction

В последнее время на территории крупных мегаполисов стараются создавать и обустраивать как можно больше зеленых зон в целях создания благоприятной экологической обстановки для населения и поддержания экосистемы города. Древесные насаждения играют ключевую роль, выполняя средообразующие и средозащитные функции. Вместе с тем на растительность городов воздействует множество антропогенных факторов, усиление влияния которых сказывается на общем состоянии как почвенного покрова, так и самого древостоя.

Различные подходы к оценке растительности на городских территориях изложены во многих научных трудах, проблемы снижения природно-ландшафтного потенциала городской среды затрагивается в работах Шергиной, Михайловой (2007), Мартыненко и др. (2009), Тутыгина (2009), Мударисова (2013), Васенева (2016) и др. Вопросы воздействия антропогенных факторов на зеленые насаждения изучались Калугиной (2017), Руновой, Шиверских (2018), в том числе влияние токсичных веществ, содержащихся в воздухе, на жизненное состояние растений, – Красинским (1950), Николаевским (1979), Кулагиным (1980), Кирдяновым (2014) и др. Факторы, приводящие к ослаблению средообразующих функций городских насаждений, рассматриваются в исследованиях Протопоповой (1972), Василюк (1987), Калугиной (2017) и др.

Создание рекреационных зон является весьма важным аспектом в современном мире, но работы по благоустройству территорий зачастую могут повлечь за собой определенные экологические риски. К ним можно отнести: подсыпку почвогрунтов, что способно привести к исчезновению ряда реликтовых видов растительности; вырубку древостоя, вызывающую изменение местообитания некоторых птиц и млекопитающих; устройство дренажных канав, приводящее к появлению вытоптанных участков, образованию промоин и дальнейшей эрозии [1, 2]. Поэтому важно разрабатывать экологические проекты, итоговой целью которых будет благоустройство рекреационных зон с минимальной антропогенной нагрузкой на территорию, снижением риска причинения ущерба окружающей среде и регулярным проведением экологического мониторинга [3].

Древесные насаждения сильно влияют на микроклимат города, понижая температуру, тем самым предохраняя почву от чрезмерного перегрева, влияют на влажность воздуха, так как обладают большой испаряющей поверхностью, поглощают вредные газы, абсорбируют пыль и накапливают углерод [4, 5]. Однако неблагоприятные условия городской среды заметно влияют на экологическое состояние зеленых насаждений, отражаясь как на отдельных физиологических и морфологических показателях, так и на общей жизнеспособности растения, снижая сопротивляемость к негативным факторам антропогенного воздействия [4, 6].

Цель исследований: оценка состояния древесной растительности лесопарковой территории государственного музея-заповедника (ГМЗ) «Царицыно».

Методика исследований
Research methods

Всего на территории исследуемого объекта было выделено 6 зон с различной рекреационной нагрузкой (рис. 1). Чтобы оценка экологического состояния древостоя на каждой исследуемой территории обладала репрезентативностью и валидностью, были выбраны участки, где количество деревьев одного вида составляло не менее 100.

Оценка состояния древостоя проводилась по шкале категорий состояния деревьев, где по диагностическим признакам можно определить ослабленность конкретного дерева и вида, вспышки болезней или повреждения вредителями, а также локальное воздействие антропогенного фактора [7]. Визуальное обследование территории включало в себя оценку состояния древостоя по состоянию кроны, коры, наличие повреждений, дупла, гнили

и т.д. [8, 9]. Очень важно при проведении визуальной оценки обращать внимание на признаки, свидетельствующие о неблагоприятной ситуации в целом на исследуемой территории. Среди таких признаков могут быть выделены: частое появление среди доминирующих видов ослабленных деревьев или массовое обнаружение сухостоев среди них; видимое уменьшение листовой пластины и хвои; депрессия прироста по высоте и диаметру, а также появление характерных заболеваний (некрозы листьев и хвои) [10] и повышенное количество повреждений, вызванных насекомыми [11]. Шкала корректировалась с расчетом на то, чтобы в результате она не только отображала признаки ослабления деревьев, поврежденных какими-то стихийными стрессовыми явлениями, но и показывала различные кумулятивные проявления ухудшения состояния древостоя [12].

С помощью шкалы визуальной оценки (по Постановлению Правительства РФ от 20 мая 2017 г. № 607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах») деревьев по внешним признакам определялись баллы состояния отдельных деревьев (табл. 1)

Стоит отметить, что прогнозная ценность различных диагностических параметров не вполне однозначна. Так, степень повреждения ассимиляционного аппарата лиственных и листопадных хвойных видов деревьев может характеризовать в первую очередь современное (текущее) состояние представителя данного вида, но далеко не всегда она будет отражаться на состоянии древостоя уже в будущем году. Поэтому всегда необходимо учитывать погодные условия текущего периода проведения экологического мониторинга и другие параметры, которые закономерно могут повлиять на результаты исследования [9].

Помимо визуальной оценки, при помощи шкалы были произведены замеры высоты и диаметра стволов деревьев.

Измерение высоты деревьев производилось с помощью высотомера SUUNTO PM-5/1520. Разрешающая способность составляла ±1-2%.

Измерение диаметра ствола производилось мерной вилкой, на высоте 1,2 м от уровня земли.

После всех замеров и подсчетов были рассчитаны баллы, соответствовавшие шкале оценки жизненного состояния древостоя на каждом участке, которое рассчитывалось по формуле:

$$Ki = (B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8 + \ldots)/N,$$

где Ki – коэффициент состояния одного вида дерева; B1+B2+B3… – сумма баллов отдельных деревьев данного вида; N – общее число учтенных деревьев данного вида.

Рис. 1. Исследуемая территория парка «Царицыно»
Fig. 1. Studied area of the Tsaritsyno Park

Средний балл древостоя вычисляли по формуле:

$$К = (Кi1 + Кi2 + \ldots)/Р,$$

где Кi1, Кi2 и т.д. – коэффициенты состояния 1, 2 и т.д. видов; Р – число видов деревьев.

Критерии оценки состояния древостоя:

К< 1,5 – здоровый древостой;

К = 1,6-2,5 – ослабленный древостой;

К = 2,6-3,5 – сильно ослабленный лес;

К = 3,6-4,5 – усыхающий лес;

К >4,6 – погибший лес.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Первый исследуемый участок имеет достаточно плотную посадку древостоя. Преобладающими породами являются: липа мелколистная (*Tília cordata*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), лиственница европейская (*Larix decidua*). На этом участке наблюдалось большое количество древесных растений – 850 ед. По результатам оценки состояния древостоя, большинство их относится к категории ослабленных, имеет сухие ветки и разреженную крону. Рекреационная нагрузка умеренная, так как мало организованных тропинок, но присутствуют вытоптанные места и кострища.

На втором исследуемом участке общее количество оцениваемого древостоя составило 650 ед. Преобладающей породой на данной территории является клен ясенелистный (*Acer negundo*), но помимо клена ясенелистного, в большинстве своем присутствовали такие виды, как: вяз гладкий (*Ulmus laevis*); ива трехтычинковая (*Salix triandra*); рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*); липа мелколистная (*Tília cordata*). В большинстве представители клена ясенелистного были определены как сильно поврежденный древостой. Возможно, это последствия того, что лесопарковый массив на данном участке является достаточно плотным и деревья испытывали недостаток света.

Третий исследуемый участок располагался вдоль автомобильной дороги Шипиловский проезд, и преобладающими видами древесной породы на нем являются клен ясенелистный (*Acer negundo*), липа мелколистная (*Tília cordata*), береза

Таблица 1

Шкала категорий жизненного цикла и оценки деревьев

1 балл	Здоровое дерево. Деревья, относимые к этой категории, не имеют внешних признаков повреждений кроны и ствола. Густота кроны – обычная для доминирующих деревьев (определенного вида деревьев на данной территории). Мертвые и отмирающие ветви отсутствуют либо сосредоточены в нижней части кроны, носят единичный характер. Листья/хвоя без признаков повреждений либо повреждения незначительны и составляют менее 10% общего объема кроны, насыщенно-зеленого цвета.
2 балла	Поврежденное (ослабленное) дерево. Для отнесения дерева к данной категории обязательно проявление как минимум одного из перечисленных признаков: 1) густота кроны снижена на 30% по причине преждевременного опада листьев, хвои; 2) присутствие 30% отмерших и/или усыхающих ветвей в верхней части дерева; 3) повреждение листьев/хвои, составляющих крону, на 30% от всего объема (учитывая усыхание, деятельность вредителей, некрозы и пр.); 4) наличие легких повреждений коры.
3 балла	Сильно поврежденное (сильно ослабленное) дерево. Необходимо наличие как минимум одного из перечисленных признаков: 1) густота кроны снижена на 50% по причине преждевременного опада листьев, хвои; 2) присутствие 50% отмерших и/или усыхающих ветвей в верхней части дерева; 3) повреждение листьев/хвои, составляющих крону, на 50% от всего объема (учитывая усыхание, деятельность вредителей, некрозы и пр.); 4) наличие сильных повреждений коры, дупел, наплывов; 5) замечена активная деятельность паразитов.
4 балла	Отмирающее дерево. Основными признаками для отнесения к этой категории являлись: 1) обильные разреживание и разрушение кроны, снижение ее густоты до 15-20% по сравнению со здоровой особью; 2) 60-70% ветвей по всему периметру ствола и кроны проявляют признаки усыхания и отмирания; 3) листья, составляющие крону, хлоротичны; 4) наличие крупных очагов некрозов, заметных невооруженным глазом, гниение, наличие мест обитания и размножения древесных паразитов (в том числе в комлевой и средней частях ствола).
5 баллов	Свежий сухостой (сухостой этого года). К нему были отнесены деревья, погибшие менее года назад: наблюдалось наличие неопавших или опавших не до конца остатков листьев и хвои (в том числе увядающих и засыхающих); кора и ветви еще не подверглись полноценному процессу разрушения и разложения насекомыми-ксилофагами.
6 баллов	Старый сухостой (сухостой прошлых лет). Данная категория – деревья, погибшие в прошлые годы. У них постепенно утрачиваются ветви, кора. Все более заметной становится деятельность насекомых-ксилофагов.
7 баллов	Аварийные деревья. Деревья со структурными изъянами (наличие дупел, гнилей, обрыв корней, опасный наклон), способными привести к падению всего дерева или его части и причинению ущерба населению или государственному имуществу.

Table 1

Scale of life cycle categories and tree assessment

1 point	Healthy tree. Trees in this category show no external signs of crown or trunk damage. Crown density is normal for dominant trees (of a particular species in the area). Dead and dying branches are absent or concentrated in the lower part of the crown and are isolated. Leaves/needles are without signs of damage or damage is insignificant and less than 10% of total crown volume, rich green in color.
2 points	Damaged (weakened) tree. At least one of the following characteristics is required to classify a tree in this category: 1) crown density reduced by 30% due to premature leaf and needle fall; 2) presence of 30% dead and/or dying branches in the upper part of the tree; 3) 30% damage to leaves/needles that make up the crown (taking into account desiccation, pest activity, necrosis, etc.); 4) light bark damage.
3 points	Severely damaged (severely weakened) tree. At least one of the following signs is required: 1) crown density reduced by 50% due to premature leaf and needle fall; 2) presence of 50% dead and/or dying branches in the upper part of the tree; 3) damage of leaves/needles that make up the crown of 50% of the total volume (taking into account desiccation, pest activity, necrosis, etc.); 4) presence of severe bark damage, cavities, swellings; 5) activity of parasites.
4 points	Dying tree. The main signs for assignment to this category are: 1: 1) abundant thinning and destruction of the crown, reduction of its density up to 15-20% compared to a healthy individual; 2) 60-70% of branches along the entire perimeter of the trunk and crown show signs of desiccation and dying; 3) leaves that make up the crown are chlorotic; 4) presence of large necrosis foci visible to the naked eye, rotting, presence of habitats and reproduction of wood parasites (including in the stem and middle parts of the trunk).
5 points	Fresh deadwood (this year's deadwood). It includes trees that died less than a year ago: the presence of leaves and needles (including withering and withered) that have not fallen or have not completely fallen; bark and branches that have not yet undergone the full-fledged process and decomposition by xylophagous insects.
6 points	Old deadwood (previous years' deadwood). This category includes trees that have died in previous years. They gradually lose branches and bark. The activity of xylophagous insects becomes more noticeable.
7 points	Emergency trees. Trees with structural defects (hollows, rot, broken roots, dangerous tilt) that can cause the entire tree or part of it to fall and cause damage to the public or public property.

повислая (*Betula pendula*). Возможно, по причине близости к дороге состояние древостоя было оценено как сильно ослабленное. У деревьев вида ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) состояние отмечено как усыхающее, и некоторые деревья оценены как сухостой этого года, что также связано с антропогенной деятельностью и близостью к дороге.

На четвертом участке, в самом центре исследуемого объекта, основными породами являются тополь дрожащий (*Pópulus trémula*), клен остролистный (*Acer platanoídes*), липа мелколистная (*Tília cordata*), лиственница европейская (*Larix decidua*), которой требуется санитарная обрезка сухих ветвей. Основное состояние древостоя оценивалось как удовлетворительное по причине удаления от автодороги.

Пятый исследуемый участок располагался в районе Нижнецарицынского пруда. На этой территории преобладающими породами являются различные виды ив: ива ломкая (*Salix fragilis*), ива белая (*Salix alba*), ива козья (*Sálix cáprea*), произрастающие в основном у берега пруда, а также береза повислая (*Betula pendula*), клен ясенелистный (*Acer negundo*). Жизненное состояние деревьев на этом участке сильно варьировалось от ослабленного до сухостоя прошлых лет, что связано с видовым составом, так как ивы более адаптируемы к рекреационной нагрузке, различным изменениям абиотических факторов и расположению вдоль водоема.

Шестой участок исследований имел в доминирующих породах также различные виды ив, так как находится вдоль водоема: ива белая (*Salix alba*), ива пятитычинковая (*Salix pentandra*), ива ломкая (*Salix fragilis*). Кроме того, произрастают вяз гладкий (*Ulmus laevis*), липа мелколистная (*Tília cordata*). Общее жизненное состояние было отмечено как здоровое, несмотря на довольно обширные дорожно-тропиночные сети и частую посещаемость.

По результатам мониторинга для каждой зоны исследуемого участка были рассчитаны средние показатели состояния древостоя и определена категория состояния (табл. 2).

Каждый обследованный участок характеризуется (табл. 2) однотипным по категориям оценки древостоем. В основном жизненное состояние преобладающих видов деревьев было хорошим, за исключением лишь небольшого количества представителей видов, которые в силу своего единичного проявления не оказали существенного влияния на общую картину экологической оценки древесного яруса растительности на рассматриваемой территории. Наиболее ослабленный древостой находится в зонах 3 и 4.

Таблица 2

Экологическая оценка состояния древесной растительности ГМЗ «Царицыно»

№ зоны	Средний показатель состояния древостоя	Категория жизненного состояния древостоя
1	1,1	Здоровый
2	1,5	Здоровый
3	2,5	Ослабленный
4	2,8	Сильно ослабленный
5	1,0	Здоровый
6	1,5	Здоровый

Table 2

Ecological assessment of the state of woody vegetation of the Tsaritsyno Museum Reserve

No. of the zone	Average stand condition indicator	Category of stand life condition
1	1.1	Healthy Tree
2	1.5	Healthy Tree
3	2.5	Weakened tree
4	2.8	Severely Weakened Tree
5	1.0	Healthy Tree
6	1.5	Healthy Tree

Основной рабочей гипотезой была определена оценка влияния уровня нерегулируемой рекреационной нагрузки на почвенный покров, имеющий прямое влияние на состояние древостоя [1, 5].

За период проведения исследований выявлено, что максимальное количество посетителей, пренебрегающих зарегулированной дорожно-тропиночной сетью, приходилось на 4-й участок, являющийся выположенной верхней третью холма, характеризующейся максимальной рекреационной привлекательностью и доступностью при любых погодных условиях. В результате повышенной нагрузки древесный покров участка отнесен к сильно ослабленному (рис. 2).

Ослабленная древесная растительность также наблюдалась вдоль автомобильной дороги в зоне 3, являющейся основным всесезонным прогулочным маршрутом местных жителей и собачников. На территории данной зоны сниженные нарушения дорожно-тропиночной сети компенсируются негативным воздействием автотранспорта.

Наиболее благоприятный по результатам проведенной оценки участок 1 характеризуется невысокой рекреационной привлекательностью ввиду меньшей ухоженности и обилия кустарниковых зарослей, а также удаленности от водоема.

Прибрежные участки повсеместно относятся к здоровой категории жизненного состояния древостоя по причине грамотного размещения дорожно-тропиночной сети, четко регулирующей антропогенную рекреационную нагрузку.

Таким образом, проведенный анализ территории подтвердил, что состояние древостоя действительно зависит от уровня и зарегулированности рекреационной нагрузки вследствие воздействия на почвы, что в свою очередь приводит к деградации древостоя. Подобные исследования были освещены в научных работах по разным лесопарковым зонам городских территорий авторами И.И. Васеневым [9], Е.Б. Таллером, И.В. Андреевой [10] и др. В антропогенно измененных условиях древесный покров формируется с несвойственными здоровому древостою характеристиками: более ажурные кроны, повышенное ветвление, наросты и повышенная заболеваемость, что в итоге приводит к выпадению видов и смене растительного покрова. В ходе обследования были даны рекомендации по устранению суховершинных деревьев в частях парка, где нет благоустроенных дорожек: организация дорожно-тропиночной сети, установка табличек с информацией о причинах гибели и выпадания древостоя.

Рис. 2. Схема экологической оценки состояния древесной растительности ГМЗ «Царицыно»
Fig. 2. Scheme of ecological assessment of the state of woody vegetation of the Tsaritsyno Museum Reserve

Выводы
Conclusions

В ходе проведенных исследований было установлено, что общее состояние древесной растительности в лесопарковой зоне парка «Царицыно» можно охарактеризовать как здоровое. В зонах № 1, № 2, № 5, № 6 показатель состояния деревьев не превышал 1,5, что подтверждает визуальный осмотр и расчеты по коэффициентам.

Были выявлены зоны с проблемными деревьями. Такие участки были отмечены вдоль Шипиловского проезда в исследуемой зоне № 3, что связано с автомобильной дорогой, загрязнениями от автотранспорта и самого устройства дорожного полотна, которое при устроении изменило или нарушило гидрологический режим территории, повлекший ухудшение состояния древостоя. Состояние деревьев согласно экологической оценке на участке определено как ослабленное (2,5 балла по шкале) (табл. 2). Сильно ослабленный древостой (2,8 балла) наблюдается на участке № 4, где максимальное количество дорожно-тропиночной сети является несанкционированным. Это приводит к вытаптыванию и переуплотнению почвы, что сказывается на состоянии древостоя. На проблемных участках (№ 3 и № 4), помимо слома ветвей, механических повреждений коры, были отмечены вредители, особенно на липе мелколистной, где была обнаружена липовая моль-пестрянка (*Phyllonorycter issikii*). Повреждения, которые вызывает ее личинка, встречались на большинстве деревьях вдоль дорог. Листва, поврежденная этим вредителем, преждевременно засыхает и опадает, что приводит к потере декоративности насаждений.

Для некоторых видов деревьев были даны рекомендации по надлежащему уходу: в основном требовались санитарное кронирование и обработка от паразитов (особенно растущим вдоль улиц и пешеходных дорожек).

Для поддержания экологического состояния и повышения стабильности древесных сообществ рекомендованы комплексные мероприятия – такие, как санитарные рубки умеренной интенсивности (с удалением только деревьев категорий состояния «свежий» и «старый сухостой»); регулярная обработка древесных насаждений от паразитов-ксилофагов; создание посадок с учетом большей устойчивости древесных пород растений к разного рода воздействиям, а также их способности поглощать и нейтрализовать вредные вещества, защищать менее устойчивые насаждения, предотвращать загрязнение, деградацию и эрозию почв; сокращение или перенаправление потоков людей; обустройство эко-тропы.

Список источников

1. Илюшкова Е.М., Таллер Е.Б. Экологическая оценка влияния дорожно-тропиночной сети на почвенные характеристики и состояние древостоя ЛОД РГАУ-МСХА // *Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. С. 604-606. EDN: KYXXFT

2. Резакина А.В., Тихонова М.В., Бузылёв А.В. Экологическая оценка ценопопуляций краснокнижных растений музея-заповедника «Царицыно» // *АгроЭкоИнфо.* 2024. № 3 (63). https://doi.org/10.51419/202143326

3. Ермаков С.Ю., Тихонова М.В., Жигалева Я.С., Илюшкова Е.М. и др. Оценка экологических функций лесной экосистемы в условиях мегаполиса (на примере Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) // *АгроЭкоИнфо.* 2022. № 3 (51). https://doi.org/10.51419/202123308

4. Жигалева Я.С. Роль городских лесов в экосистеме мегаполиса // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 5 (59). https://doi.org/10.51419/202135524

5. Жигалева Я.С., Бузылёв А.В. Экологическая оценка растительного покрова на различных вариантах мезорельефа территории городского леса г. Москвы // *Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 90-летию Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук*. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. С. 308-310. EDN: KEWGET

6. Абрамова И.И., Красовская И.Н. *Экологическая оценка территории*: *методы и подходы*. М.: Издательство Московского университета, 2012.

7. Жигалева Я.С., Бузылёв А.В. Экологическая оценка биоразнообразия и устойчивости растений в условиях городского леса на примере Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Вестник МНЭПУ.* 2021. № S1. С. 124-132. EDN: QVJNMO

8. Васенев И.И., Ярославцев А.М., Александров Н.А., Серёгин И.А. и др. *Методические рекомендации по использованию IoT-устройств агроэкологического мониторинга*: Методические указания // Москва: Российский государственный аграрный университет, 2023. 80 с. EDN: IPXTQG

9. Васенев И.И., Ибрахим М., Таллер Е.Б. Экологическая оценка варьирования состава травянистого покрова по контрастным элементам мезорельефа Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *АгроЭкоИнфо.* 2023. № 4 (58). https://doi.org/10.51419/202134427

10. Андреева И.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б., Васенев И.И. Сравнительная оценка экологического состояния лесопарковых зон Тимирязевского района города Москвы // *АгроЭкоИнфо*. 2021 № 6 (48). https://doi.org/10.51419/20216630

11. Таллер Е.Б., Артемьева З.С., Кириллова Н.П., Данченко Н.Н. Некоторые особенности динамики

References

1. Ilyushkova E.M., Taller E.B. Environmental assessment of the influence of the road and path network on soil characteristics and the state of the tree LOD RSAU-MSKHA. *Mezhdunarodnaya nauchnaya ekologicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya Godu nauki i tekhnologiy. March 29-31, 2021.* Krasnodar, Russia: Kuban State Agrarian University, 2021:604-606. (In Russ.)

2. Rezakina A.V., Tikhonova M.V., Buzylyov A.V. Ecological assessment of cenopopulations of red-listed plants of the Tsaritsyno Museum Reserve. *AgroEcoInfo.* 2024;3(63). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202143326

3. Ermakov S.Yu., Tikhonova M.V., Zhigaleva Ya.S et al. Assessment of ecological functions forest ecosystem in the conditions of a metropolis (on example of the forest experimentation station of the RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. *AgroEcoInfo.* 2022;3(51). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202123308

4. Zhigaleva Ya.S. The role of urban forests in the megapolis ecosystem. *AgroEcoInfo.* 2023;5(59). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202135524

5. Zhigaleva Ya.S., Buzylev A.V. Ecological assessment of vegetation cover on different variants of mesorelief of the urban forest territory of Moscow. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 90-letiyu Federalnogo nauchnogo tsentra agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk Federalniy nauchniy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk 'Agrolesomelioratsiya i opustynivanie'. July 21-23, 2022.* Volgograd, Russia: Federalniy nauchniy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk, 2022:308-310. (In Russ.)

6. Abramova I.I., Krasovskaya I.N. *Ecological assessment of the territory*: *methods and approaches.* Moscow, Russia: Moscow University, 2012. (In Russ.)

7. Zhigaleva Ya.S., Buzylev A.V. Ecological assessment of biodiversity and plant resistance in urban forest conditions on the example of the forest experimental dacha of the Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Vestnik MNEPU.* 2021; S1:124-132. (In Russ.)

8. Vasenev I.I., Yaroslavtsev A.M., Aleksandrov N.A. et al. *Guidelines on the use of IoT devices for agroecological monitoring.* Moscow, Russia: Russian Timiryazev State Agrarian University, 2023:80. (In Russ.)

9. Vasenev I.I., Ibrahim M., Taller E.B. Ecological assessment of the variation of herbaceous cover composition by contrasting elements of the mesorelief of the Forest Experimental Dacha of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *AgroEcoInfo.* 2023;4(58). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202134427

10. Andreeva I.V., Morev D.V., Taller E.B., Vasenev I.I. Comparative assessment of the ecological state of forest park zones of the Timiryazevskiy district of Moscow. *AgroEcoInfo.* 2021;6(48). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/20216630

11. Taller E.B., Artemyeva Z.S., Kirillova N.P., Danchenko N.N. Dynamics of organic matter under

качественного состава органического вещества хроноряда дерново-подзолистых почв в процессе лесовосстановления // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2019. № 98. С. 77-104. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-77-104

12. Комарова Т.В., Васенев И.И., Алилов Д.Р., Таллер Е.Б. Экологическая оценка сукцессионной динамики почвенных запасов углерода и потоков CO2 в столетнем ряду зарастания залежи Центрально-Лесного заповедника // *АгроЭкоИнфо.* 2018. № 3 (33). EDN: YMJGXR

the afforestation of the former agricultural sod-podzolic soils. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2019;(98):77-104. (In Russ.) https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-77-104

12. Komarova T.V., Vasenev I.I., Alilov D.R., Taller E.B. Ecological assessment of successional dynamics of soil carbon stocks and CO2 fluxes in the soil. carbon stocks and CO2 fluxes in a century-long series of overgrowth of the Central Forest Reserve. *AgroEcoInfo.* 2018;3(33). (In Russ.)

Сведения об авторах

Мария Васильевна Тихонова, доцент, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: tmv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9422-5846;

Алексей Вячеславович Бузылёв, старший преподаватель кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: axe@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-3856-6563

Елена Михайловна Илюшкова, ассистент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: e.ilyushkova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4867-1586

Ярослава Сергеевна Жигалева, ассистент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: zhigaleva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-8127-1050

Марина Тудоровна Спыну, старший преподаватель кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: spynu@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-6541-5897

Никита Александрович Александров, старший преподаватель кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул.Тимирязевская,49;e-mail:alexandrov_na@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-2666-2697

Надежда Владимировна Гавриловская, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов, кандидат технических наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: gavrilovskayanv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-5060-7837

Статья поступила в редакцию 29.07.2024
Одобрена после рецензирования 20.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

Information about the authors

Marya V. Tikhonova, CSc (Bio), Assistant Professor, Acting Head of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: tmv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9422-5846

Aleksey V. Buzylev, senior lecturer at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: axe@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-3856-6563

Elena M. Iliushkova, Assistant at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: e.ilyushkova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4867-1586

Yaroslava S. Zhigaleva, Assistant at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: zhigaleva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-8127-1050

Marina T. Spynu, Senior Lecturer at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: spynu@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-6541-5897

Nikita A. Aleksandrov, Senior Lecturer at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: alexandrov_na@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2666-2697

Nadezhda V. Gavrilovskaya, CSc (Eng), Associate Professor at the Department of Computer-Aided Design Systems and Engineering Calculations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); phone: (499) 153-97-66; e-mail: gavrilovskayanv@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-5060-7837

The article was submitted to the editorial office
July 29, 2024
Approved after reviewing August 20, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ /
GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BIOCHEMISTRY

БИОХИМИЯ

Обзорная статья
УДК 577.126:591.1
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-61-68

Подвергается ли дезаминированию антраниловая кислота в животном организме?

Андрей Владленович Малиновский

Специальное конструкторское технологическое бюро (СКТБ) «Биофизприбор» – Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Экспериментально-производственные мастерские» Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Владленович Малиновский; malinovskiy.andrey@yandex.ru

Аннотация
Все пути превращения природных аминокислот приводят к циклу Кребса. Но в последний могут поступать только безазотистые ациклические соединения. Однако в животном организме продукты дезаминирования и децикализации аминокислот не только окисляются в цикле Кребса до конечных продуктов, но и превращаются в глюкозу и кетоновые тела. Следовательно, любая природная аминокислота обладает глюкогенным либо кетогенным действием, а некоторые аминокислоты обладают глюкокетогенным, или смешанным действием, так как в процессе распада образуют и продукт с глюкогенным действием, и продукт с кетогенным действием. К таким аминокислотам относится триптофан. Одним из продуктов распада триптофана является антраниловая кислота, причем если превращение другого продукта распада триптофана-3-гидроксиантраниловой кислоты давно хорошо известно и является причиной кетогенного действия триптофана, то превращение антраниловой кислоты долго оставалось неясным. Это порождало различные суждения, не позволяющие делать истинные заключения о действии антраниловой кислоты (глюкогенное или кетогенное), а следовательно, окончательные выводы о действии триптофана в животном организме. В статье приведен анализ превращения антраниловой кислоты в животном организме, что позволяет сделать вывод о метаболическом пути триптофана через нее. Показана невозможность прямого дезаминирования антраниловой кислоты у животных с вытекающим из прямого дезаминирования наличием глюкогенного действия антраниловой кислоты, а также кетогенное действие антраниловой кислоты вследствие ее окисления в 3-гидроксиантраниловую кислоту. А поскольку обе кислоты являются промежуточными продуктами распада белковой аминокислоты триптофана, этот факт должен учитываться в рационе животных в норме и патологии.

Ключевые слова
антраниловая кислота, триптофан, дезаминирование, кетоз, животные, дезаминирование антраниловой кислоты

Для цитирования
Малиновский А.В. Подвергается ли дезаминированию антраниловая кислота в животном организме? // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 2. С. 61-68. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-61-68

BIOCHEMISTRY

Review article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-61-68

Is anthranil acid subject to deamination in animals?

Andrey V. Malinovsky

Special Design Technological Bureau (SDTB) “Biofizpribor”, St. Petersburg branch of the Federal State Unitary Enterprise “Experimental and Production Workshops” of Federal Biomedical Agency, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Andrey V. Malinovsky; malinovskiy.andrey@yandex.ru

Abstract
All metabolic pathways of natural amino acids lead to the Krebs cycle. However, only nitrogen-free acyclic compounds can enter the Krebs cycle. In animals, however, the products of deamination and decyclization of amino acids are not only

oxidized to end products in the Krebs cycle, but are also converted to glucose and ketone bodies. Consequently, every natural amino acid has a glucogenic or ketogenic effect, and some amino acids have a glucoketogenic or mixed effect, because they form both a glucogenic and a ketogenic product in the process of degradation. Tryptophan is such an amino acid. One of the degradation products of tryptophan is anthranilic acid. While the conversion of another degradation product of tryptophan, 3-hydroxyanthranilic acid, has long been known and is the cause of the ketogenic effect of tryptophan, the conversion of anthranilic acid has long remained unclear. This has led to various judgments that have not allowed true conclusions about the action of anthranilic acid (glucogenic or ketogenic) and, consequently, the final judgments about the action of tryptophan in animals. The article analyzes the conversion of anthranilic acid in animals, which allows us to conclude about the metabolic pathway of tryptophan through it. The article shows the impossibility of direct deamination of anthranilic acid in animals with the glucogenic effect of anthranilic acid resulting from direct deamination, and also shows the ketogenic effect of anthranilic acid due to its oxidation to 3-hydroxyanthranilic acid. Since both acids are intermediates in the degradation of the protein amino acid tryptophan, this fact should be taken into account in the diets of normal and pathological animals.

Keywords
anthranilic acid, tryptophan, deamination, ketosis, animals, deamination of anthranilic acid

Conflict of interest
The author declare no conflicts of interest.

For citation
Malinovsky A.V. Is anthranil acid subject to deamination in animals? *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):61-68. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-61-68

Введение
Introduction

В 50-е гг. XX в. науке стал известен распад всех аминокислот, входящих в состав природных белков. Это позволило составить схему введения углеродных скелетов аминокислот в цикл Кребса, в котором эти углеродные скелеты окисляются до конечных продуктов – углекислого газа и воды. В учебниках и справочниках по биохимии вплоть до наших дней была стереотипной схема, составленная в 1970 г. американским биохимиком Альбертом Ленинджером [1]. Ввиду недостатков исследования Ленинджера автором данной работы внесены корректировки относительно превращения треонина и триптофана, а также выводов автора в отношении триптофана и лизина [2-4]. Однако, и у Ленинджера показано, что вводиться в цикл Кребса могут только безазотистые ациклические соединения. Следовательно, перед введением в цикл Кребса аминокислота и продукт ее превращения должны обязательно подвергнуться дезаминированию и дециклизации.

В животном организме продукты дезаминирования и дециклизации аминокислот не только окисляются в цикле Кребса до конечных продуктов, но и превращаются в глюкозу и кетоновые тела. Следовательно, любая природная аминокислота обладает глюкогенным либо кетогенным действием, а некоторые аминокислоты обладают глюкокетогенным, или смешанным действием, так как в процессе распада образуют как продукт с глюкогенным действием, так и продукт с кетогенным действием. К таким аминокислотам относится триптофан. Действие аминокислоты зависит от промежуточных продуктов ее превращения. Промежуточным продуктом окисления глюкозы является пировиноградная кислота. Она может обратимо карбоксилироваться в щавелевоуксусную кислоту (ЩУК) – катализатор цикла Кребса. Кроме того, из пировиноградной кислоты могут синтезироваться глюкоза и гликоген. Поэтому если аминокислота в процессе катаболизма превращается в пировиноградную кислоту или в любой компонент цикла Кребса, то ее действие будет глюкогенным. Необратимое окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты в ацетилкофермент А (ацетил-КоА) не влияет на действие аминокислоты, так как сопровождается эквивалентным карбоксилированием пировиноградной кислоты в ЩУК, что обеспечивает окисление ацетил-КоА в цикле Кребса до конечных продуктов. Другое дело, если аминокислота в процессе катаболизма превращается в ацетил-КоА, минуя стадию пировиноградной кислоты, или в ацетоуксусную кислоту (свободную или в виде ацетоацетил-КоА). Тогда действие аминокислоты будет кетогенным, так как ацетил-КоА может использоваться для синтеза не только высших жирных кислот (ВЖК), холестерина и др., но и кетоновых тел. Что касается ацетоуксусной кислоты, то она сама является кетоновым телом. Кроме того, некоторые аминокислоты обладают глюкокетогенным, или смешанным действием, так как в процессе распада образуют как продукт с глюкогенным действием, так и продукт с кетогенным действием. К таким аминокислотам относится триптофан.

Известно, что кетоз, то есть накопление в организме кетоновых тел, нередко поражает сельскохозяйственных животных, особенно молочных коров [5]. Кетоновые тела (ацетоуксусная и β-гидроксимасляная кислоты, а также ацетон)

являются нормальными продуктами жирового обмена, но при кетозе их накопление в организме может привести к гибели животного. Причиной последней является не наркотическое действие слаботоксичного ацетона, а сдвиг pH тканей в кислую сторону, что нарушает действия ферментов.

При кетозе глюкогенное либо кетогенное действие приобретает особое значение. Понятно, что введение в организм кетогенных аминокислот усиливает кетоз. В то же время углеводы обладают антикетогенным действием, так как промежуточным продуктом окисления глюкозы, как упоминалось выше, является пировиноградная кислота. Следовательно, глюкогенные аминокислоты также являются важными антикетогенными факторами.

Как известно [1], у животных углеводы активно превращаются в ВЖК, но обратное невозможно. Например, у медведя во время спячки глюкоза крови поддерживается за счет глицерина обильного слоя жира, но не за счет ВЖК. Другое дело, что при окислении до конечных продуктов ВЖК пополняют цикл Кребса углеродом, который может включаться в углеводы, но эта тема уже выходит за рамки статьи. В отличие от животных у растений и бактерий есть глиоксилатный цикл, в котором ВЖК превращаются в углеводы, а потому деление аминокислот на глюкогенные и кетогенные является прерогативой животных [1]. Но несмотря на то, что жвачные существуют в симбиозе с бактериями рубца, способными обеспечивать макроорганизм незаменимыми аминокислотами, именно в первую очередь у жвачных распространен кетоз [5]. Следовательно, микрофлора рубца неспособна устранять кетоз хозяина.

Актуальность работы заключается в том, что в ней показано наличие кетогенного и отсутствие глюкогенного действия промежуточного продукта распада триптофана – антраниловой кислоты. При кетозе сельскохозяйственных животных особую роль играет глюкогенное и кетогенное действие той или иной аминокислоты и продуктов их распада на организм животного вне зависимости от наличия у животного рубца. Поэтому при составлении рациона сельскохозяйственных животных необходимо учитывать это действие как в норме, так и при патологии.

В XXI в. в мире вышла не одна статья, где совершенно искаженно показано превращение антраниловой кислоты у животных вплоть до прямого дезаминирования (как у бактерий). Эта превратность приводит к недооценке кетогенного действия антраниловой кислоты, а следовательно, к недооценке кетогенного действия триптофана наряду с его глюкогенным действием, не имеющим отношения к антраниловой кислоте, что при наличии кетоза, распространенного у жвачных, приобретает критическое значение. Среди опубликованных работ, отсутствуют статьи, где бы подчеркивалось кетогенное действие антраниловой кислоты, пусть и слабое, наряду с полным отсутствием глюкогенного действия.

Цель исследований: подчеркнуть кетогенное действие антраниловой кислоты – промежуточного продукта распада белковой аминокислоты триптофана – наряду с полным отсутствием глюкогенного действия антраниловой кислоты.

Распад триптофана в животном организме
Degradation of tryptophan in animals

Углеродные скелеты всех незаменимых аминокислот у животных распадаются необратимо. Триптофан относится к незаменимым аминокислотам. В животном организме триптофан распадается 4 путями, но 3 из них не приводят к дециклизации, а следовательно, к циклу Кребса. Только кинурениновый путь, составляющий в норме 95% распада триптофана, может приводить к циклу Кребса [6, 7]. Но здесь стоит обратить внимание на слово «может». Образующийся из триптофана кинуренин в здоровом организме превращается 3 путями:

1) наибольшая часть кинуренина окисляется флавиновым ферментом кинуренин-3-гидроксилазой в 3-гидроксикинуренин (рис. 1);

2) значительно меньшая часть подвергается преаминированию ферментом кинуренинаминотрансферазой с образованием кинуреновой кислоты;

3) также меньшая часть подвергается гидролизу ферментом кинурениназой А на заменимую аминокислоту аланин и антраниловую кислоту.

Что касается 3-гидроксикинуренина, то он превращается в здоровом организме 2 путями:

1) наибольшая часть 3-гидроксикинуренина подвергается гидролизу кинурениназой В на аланин и 3-гидроксиантраниловую кислоту (см. рис. 1);

2) как и в случае с кинуренином, значительно меньшая часть подвергается переаминированию кинуренинаминотрансферазой с образованием ксантуреновой кислоты.

Кинуреновая и ксантуреновая кислоты в здоровом организме не превращаются и выделяются с мочой. Почему важно подчеркнуть, что в здоровом организме? Дело в том, что коферментом кинурениназ является пиридоксальфосфат (ПФ) – производное витамина B_6. Поэтому при авитаминозе B_6. прекращается деятельность кинурениназ, что ведет к накоплению в организме и резкому повышению содержания в моче ксантуреновой кислоты. Несмотря на то, что коферментом кинуренинаминотрансфераз также является ПФ, их деятельность особенно не страдает – очевидно, ввиду встроенности в митохондрии. Образующаяся в избытке ксантуреновая кислота сама вызывает распад гликогена в печени, а также восстанавливается в 8-гидроксихинальдиновую кислоту – судорожный яд, отсутствующий

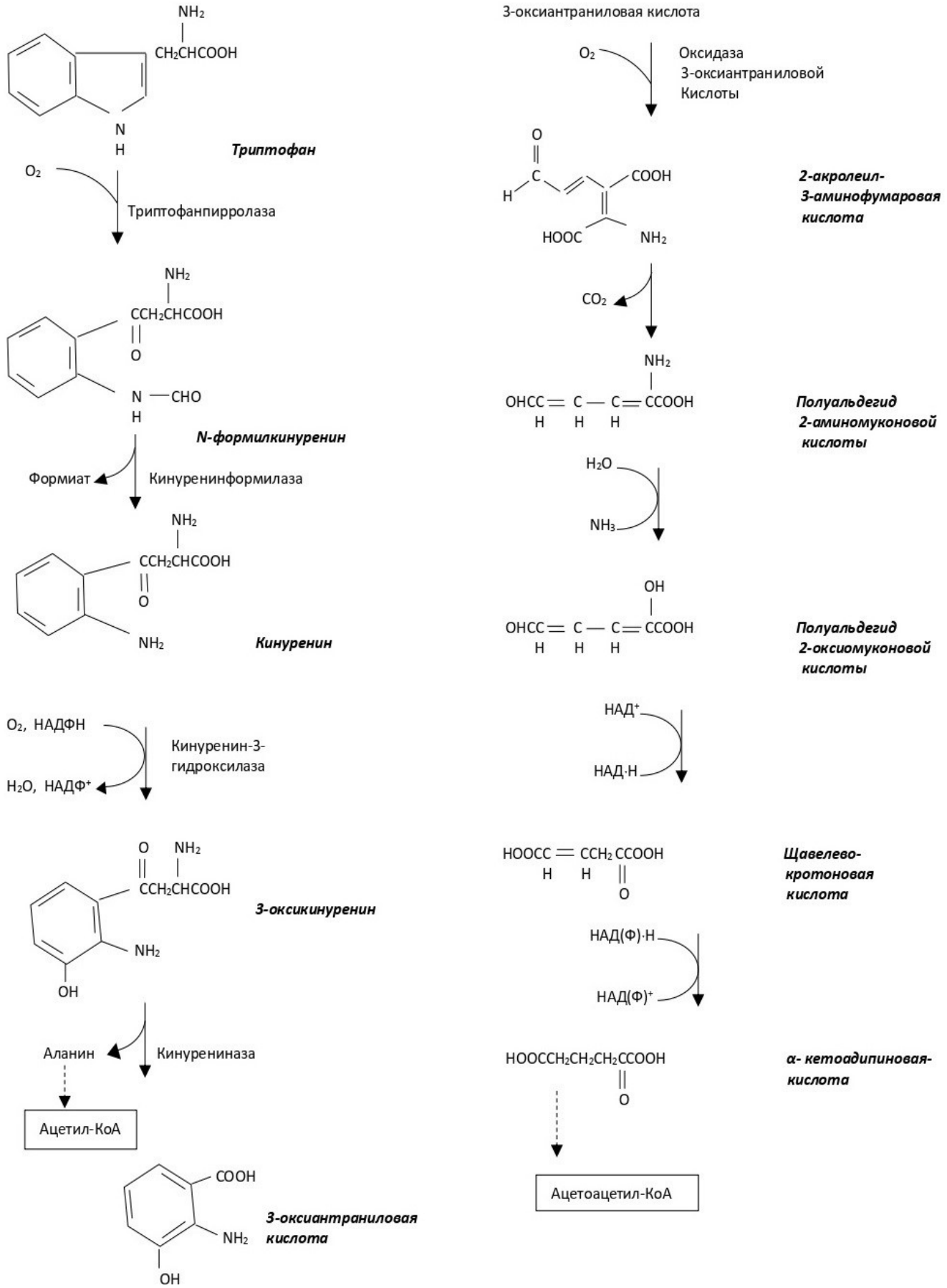


Рис. 1. Превращение триптофана в ацетил-КоА и ацетоацетил-КоА (по Ленинджеру) [1]
Fig. 1. Conversion of tryptophan into acetyl-CoA and acetoacetyl-CoA (according to Lehninger) [1]

в здоровом организме. Интересно, что у людей с наследственной недостаточностью кинуренинаазы (апофермента – белка) введение витамина B_6 устраняло судороги, вызываемые 8-гидроксихинальдиновой кислотой. Из всего сказанного можно сделать заключение о том, что главным ферментом превращения 3-гидроксикинуренина а здоровом животном организме является кинурениназа В.

Путь 3-гидроксиантраниловой кислоты к циклу Кребса показан на рисунке 1. Необходимо добавить, что значительно большее количество 3-гидроксиантраниловой кислоты у большинства млекопитающих, в том числе у сельскохозяйственных животных, не поступает в цикл Кребса, а превращается в коферменты никотинамидадениндинуклеотид (НАД) и никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ), необходимые для биологического окисления. Оба пути 3-гидроксиантраниловой кислоты давно были известны.

На рисунке 1 представлена схема превращения триптофана в ацетил-КоА и ацетоацетил-КоА из учебника биохимии Ленинджера [1]. В этой схеме все соответствует современным представлениям о пути триптофана к циклу Кребса. Тем не менее она нуждается в комментариях.

На схеме верно показано, что ацетил-КоА образуется из аланина, который в свою очередь образуется при гидролизе 3-гидроксикинуренин на 3-гидроксиантраниловую кислоту и аланин, а последний превращается в ацетил-КоА [1], причем Ленинджер относит триптофан к аминокислотам с глюкогенным действием, но из схемы этого не видим. Между тем аланин при дезаминировании вначале превращается в пировиноградную кислоту, дальнейшие превращения которой обсуждались выше. Именно образованием последней объясняется глюкогенное действие аланина и триптофана в животном организме. На схеме также показано превращение триптофана в ацетоацетил-КоА, что должно обусловливать кетогенное действие триптофана. Но, как выше указано, главный путь 3-гидроксиантраниловой кислоты у большинства млекопитающих ведет к синтезу НАД и НАДФ, и лишь ее небольшая часть окисляется в ацетоацетил-КоА (рис. 1), поэтому кетогенное действие триптофана будет слабым. Однако оно все же имеет место, и Ленинджер сам себе противоречит [1] тем, что относит триптофан к чисто глюкогенным аминокислотам.

Что касается антраниловой кислоты, выше упомянуто, что некоторая часть кинуренина гидролизуется под действием кинурениназы А до аланина и антраниловой кислоты (рис. 2).

Как сказано выше, вводиться в цикл Кребса могут только безазотистые ациклические соединения. Поэтому необходимо ответить на следующие вопросы: а) подвергается ли дезаминированию антраниловая кислота в животном организме; б) обладает она глюкогенным либо кетогенным действием.

Превращение антраниловой кислоты в животном организме

Conversion of anthranilic acid in animals

В 2008 г. вышли мемуары японского биохимика O. Hayaishi, занимавшегося исследованием раскрытия колец в циклических соединениях в различных организмах. Он пишет, что еще в конце 40-х гг. XX в. по счастливому стечению обстоятельств установил, что в отличие от млекопитающих у *Pseudomonas* антраниловая кислота, образующаяся из триптофана, в дальнейшем дезаминируется в пирокатехин. Затем происходит раскрытие бензольного кольца с образованием муконовой кислоты, которая превращается в янтарную кислоту – продукт цикла Кребса [8]. В дальнейшем наличие этой цепочки превращений было подтверждено Taniuchi и другими только у *Pseudomonas* еще в 1964 г. [9]. Если бы подобная цепочка превращений была в животном организме, то триптофан бы имел еще одно проявление глюкогенного действия. Поскольку сообщалось [8], что собакам давали бензол, после чего в моче появлялась муконовая кислота (позже это было замечено у людей, отравившихся бензолом), напрашивается вывод о том, что у животных возможно раскрытие бензольного кольца подобно раскрытию индольного кольца триптофана в кинурениновом пути, но невозможно прямое дезаминирование антраниловой кислоты. Несмотря на то, что некоторые авторы в прошлом пытались приписать эту цепочку животному организму, в книге «Метаболические пути» [10] четко указано, что этот процесс происходит только у бактерий. В наши дни известно, что у животных этой цепочки не существует – она существует только у *Pseudomonas* [11].

В 50-е гг. XX в. многие исследователи обнаруживали в моче млекопитающих конъюгаты антраниловой кислоты с глицином либо с глюкуроновой кислотой и сделали вывод о том, что антраниловая кислота метаболически неактивна и является тупиком в метаболизме триптофана у млекопитающих. К сожалению, этот стереотип продолжает сохранять свою актуальность и в XXI веке. В недавно опубликованной работе [12], посвященной видовой специфичности метаболизма триптофана у позвоночных от рыб

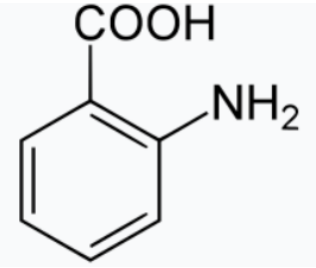


Рис. 2. Антраниловая кислота [1]
Fig. 2. Anthranilic acid [1]

до людей, отражены различные превращения 3-гидроксианатраниловой кислоты, но ни одного превращения антраниловой кислоты. А другой работе [11] сказано, что вместе с водой «выплескивают ребенка»: заявляют, что если некоторые прокариоты делят с эукариотами, включая животных, 3-гидроксикинурениновый вариант кинурениного пути с дальнейшим гидролизом 3-гидроксикинуренина кинурениназой с образованием 3-гидроксиантраниловой кислоты и аланина, то у бактерий, принадлежащих роду *Pseudomona*, кинурениназа действует прямо на кинуренин, гидролизуя его на антраниловую кислоту и аланин. Затем псевдомонады дезаминируют антраниловую кислоту в пирокатехин, описание дальнейшего превращения которого выходит за рамки статьи. Но ведь конъюгаты антраниловой кислоты в моче млекопитающих были обнаружены не без оснований еще в 50-е гг. минувшего века.

В 1966 г. было впервые продемонстрировано Kashiwamata и др. ферментативное окисление антраниловой кислоты в 5-гидроксиантраниловую кислоту в печени кролика [13].

В 1972 г. Sutamihardja и др. описано, как после нагрузки крыс антраниловой кислотой в моче были обнаружены следующие конъюгаты: 3-гидроксиантраниламид-О-сульфат и 5-гидроксиантранил-О-сульфат [14]. По мнению авторов, этот факт показывает, что антраниламид окисляется в 3-гидроксиантраниламид и 5-гидроксиантраниламид, которые затем конъюгируют in vivo. И только в 1978 г. Ueda и др. впервые сообщается [15], что в печени крысы радиоактивная метка C^{14}, введенная с антраниловой кислотой, обнаруживается в коферментах НАД и НАДФ, а также в таких промежуточных продуктах превращения 3-гидроксиантраниловой кислоты в эти коферменты, как хинолиновая и никотиновая кислоты. Эта же радиоактивная метка была обнаружена в глутаровой кислоте, которая является промежуточным продуктом в пути 3-гидроксиантраниловой кислоты к циклу Кребса. Из этого был сделан вывод о том, что в микросомах печени антраниловая кислота окисляется не только в 5-гидроксиантраниловую, но и в 3-гидроксиантраниловую и хинолиновую кислоты, следовательно, превращается в НАД и НАДФ [16]. Последние исследования это подтвердили, и мы далее к этому вернемся.

В настоящее время продолжают действовать старые стереотипы, о чем говорилось выше. В настоящей статье уже сообщалось о том, что в схеме [12] распада триптофана у животных антраниловая кислота показана без единого превращения. К сожалению, этим страдают многие современные публикации. Но только в статье Yao и др. (2011) [16] в схеме катаболизма триптофана у животных показано дезаминирование антраниловой кислоты в 2,3-дигидроксибензойную кислоту. Между тем, ни один эксперимент с животными не обнаружил у них прямого дезаминирования антраниловой кислоты. Вероятно поэтому в статье Yao и др. (2011) [16] отсутствует ссылка на какое-либо экспериментальное подтверждение последнего.

Также опубликована статья Braidy N. (2011) и др. [17], посвященная возрастным изменениям превращения кинуренина в мозге, печени и почках крыс, где указано в схеме катаболизма триптофана, что антраниловая кислота подвергается неспецифическому окислению в 3-гидроксиантраниловую кислоту. Работа Wirthgen и др. (2018) [18] посвящена роли кинуреновой кислоты у позвоночных. Но, последняя является продуктом переаминирования кинуренина, образующегося из триптофана, поэтому в статье [18] приводится схема распада триптофана по кинурениновому пути, в которой антраниловая кислота окисляется в 3-гидроксиантраниловую кислоту.

Особое внимание заслуживает работа Sadok и Jedruchniewicz (2023) [19], в которой сообщается о проведении хроматографического анализа всех продуктов превращения триптофана по кинурениновому пути. В работе [19] приведена схема превращений триптофана у млекопитающих по кинурениновому пути, из которой становится очевидным, что 3-гидроксиантраниловая кислота в организме млекопитающих образуется путем не только гидролиза 3-гидроксикинуренина, но и окисления антраниловой кислоты, что также показано в работах Braidy и др. [17], Wirthgen и др. [18].

Выводы
Conclusions

В животном организме 95% триптофана распадается по кинурениновому пути. Одним из продуктов этого превращения триптофана является антраниловая кислота. Ее превращение у животных долго оставалось неизвестным, что породило различные кривотолки: антраниловая кислота в животном организме не превращается за исключением синтеза конъюгатов, в виде которых она выделяется с мочой; единственное превращение антраниловой кислоты в животном организме – ее окисление в положении 5 бензольного кольца без дальнейших превращений; антраниловая кислота в животном организме подвергается прямому дезаминированию. Лишь начиная с работы Ueda и др. [15] стало известно, что главный путь антраниловой кислоты в животном организме – ее окисление в 3-гидроксиантраниловую кислоту. Поэтому метаболическая судьба антраниловой кислоты может только исходить от таковой у 3-гидроксиантраниловой кислоты.

Подвергается ли антраниловая кислота дезаминированию в животном организме?

Дезаминированию на пути к циклу Кребса подвергается 3-гидроксиантраниловая кислота (рис. 1), а в нее превращается антраниловая кислота. Следовательно, антраниловая кислота также подвергается дезаминированию. Прямому дезминированию антраниловая кислота в животном организме не подвергается.

Рассмотрим, каким действием – глюкогенным или кетогенным – обладает антраниловая кислота. 3-гидроксиантраниловая кислота может обладать только кетогенным действием, у большинства млекопитающих – слабым. Следовательно, антраниловая кислота также обладает слабым кетогенным действием. А поскольку обе кислоты образуются из триптофана, то и он у большинства млекопитающих обладает слабым кетогенным действием. То, почему слабым, объяснялось выше. Глюкогенным действием триптофан обладает исключительно в результате превращения в глюкогенную аминокислоту аланин.

Итак, в результате проведенного исследования можно ответить на два вопроса:

а) антраниловая кислота в животном организме подвергается дезаминированию только путем окисления в 3-гидроксиантраниловую кислоту с дальнейшим дезаминированием последней;

б) антраниловая кислота обладает слабым кетогенным действием.

Последнее обстоятельство должно учитываться при составлении рационов сельскохозяйственных животных, страдающих кетозом, вне зависимости от наличия у них рубца.

Список источников

1. Leninger A.L. *Biochemistrey*. New York Worth Publishers. 1975. 1104.

2. Малиновский А.*В*. Схема и выводы Ленинджера нуждаются в уточнениях // *Биоорганическая химия*. 2022. Т. 48, № 1. С. 53-62. https://doi.org/10.1134/S1068162022010083

3. Малиновский А.В. Глюкогенное и кетогенное действие аминокислот в свете введения их углеродных скелетов в цикл Кребса // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2022. Т. 25, № 5. С. 3-11. https://doi.org/10.29296/25877313-2022-05-01

4. Малиновский А.В. Незаменимые аминокислоты и их α-кето- и гидроксианалоги в диете больных уремией (биохимический аспект) // *Клиническая нефрология.* 2022. Т. 14, № 1. С. 94-101. https://dx.doi.org/10.18565/nephrology.2022.1.94-101

5. Bansod A.P., Jadhao A.D., Surjagade R.S. Ketosis in dairy animals. *Intas Polivet.* 2020;21(2):382-385. URL: https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor: ipo&volume=21&issue=2&article=023&type=pdf (accessed: August 08, 2024).

6. Badawy A.A. – B. Kynurenine pathway of tryptophan metabolism: regulatory and functional aspects. *International Journal of Tryptophan Research*. 2017;10:1-20. https://doi.org/10.1177/11786469176919

7. Badawy A.A. – B Tryptophan Metabolism: A Versatile Area Providing Multiple Targets for Pharmacological Intervention. *Egypt Journal of Basic Clinical Pharmacology.* 2019;9:10. https://doi.org/10.32527/2019/101415

8. Hayaishi O. From Oxygenase to Sleep. *Journal of Biological Chemistry*. 2008;283(28):19165-19175. https://doi.org/10.1074/jbc.X800002200

9. Taniuchi H., Hatanaka M., Kuno S., Hayasihi O. et al. Enzymatic formation of catechol from anthranilic acid. *Journal of Biological Chemistry*. 1964;239:2204-2211. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(20)82221-2

10. Dagley S., Nicholson D.E. *An introduction to metabolic pathways.* Oxford: Blackwell Science Ltd., 1970:352. (Russ. ed.: Dagley S., Nicholson D. Metabolicheskiye puti. Moscow: Mir Publ., 1973. 312 p.).

11. Parthasarathy A., Cross P.J., Dobson R.C.J., Adams L.E. et al. A Three-Ring Circus: Metabolism

References

1. Leninger A.L. *Biochemistrey*. New York Worth Publishers. 1975:1104.

2. Malinovsky A.*V*. Lehninger's scheme and conclusions need to be defined more exactly. *Bioorganicheskaya khimiya*. 2022;48(1):53-62. (In Russ.) https://doi.org/10.1134/S1068162022010083

3. Malinovsky A.V. Glucogenic and ketogenic effects in the light of introducing their skeletons into Krebs cycle. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2022;25(5):3-11. (In Russ.) https://doi.org/10.29296/25877313-2022-05-01

4. Malinovsky A.V. Indispensable amino acids and their α-keto- and hydroxyanalogs in the diet of patients with uremia (biochemical aspect). *Clinical Nephrology.* 2022;14(1):94-101. (In Russ.) https://dx.doi.org/10.18565/nephrology.2022.1.94-101

5. Bansod A.P., Jadhao A.D., Surjagade R.S. Ketosis in dairy animals. *Intas Polivet.* 2020;21(2):382-385. URL: https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor: ipo&volume=21&issue=2&article=023&type=pdf (accessed: August 08, 2024)

6. Badawy A.A. – B. Kynurenine pathway of tryptophan metabolism: regulatory and functional aspects. *International Journal of Tryptophan Research*. 2017;10:1-20. https://doi.org/10.1177/11786469176919

7. Badawy A.A. – B Tryptophan Metabolism: A Versatile Area Providing Multiple Targets for Pharmacological Intervention. *Egypt Journal of Basic Clinical Pharmacology.* 2019;9:10. https://doi.org/10.32527/2019/101415

8. Hayaishi O. From Oxygenase to Sleep. *Journal of Biological Chemistry*. 2008;283(28):19165-19175. https://doi.org/10.1074/jbc.X800002200

9. Taniuchi H., Hatanaka M., Kuno S., Hayasihi O. et al. Enzymatic formation of catechol from anthranilic acid. *Journal of Biological Chemistry*. 1964;239:2204-2211. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(20)82221-2

10. Dagley S., Nicholson D.E. *An introduction to metabolic pathways.* Oxford: Blackwell Science Ltd., 1970:352. (Russ. ed.: Dagley S., Nicholson D. Metabolicheskiye puti. Moscow: Mir Publ., 1973. 312 p.).

11. Parthasarathy A., Cross P.J., Dobson R.C.J., Adams L.E. et al. A Three-Ring Circus: Metabolism

of the Three Proteogenic Aromatic Amino Acids and Their Role in the Health of Plants and Animals. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2018;5(29):1-30. https://doi.org/10.3389/fmolb.2018.00029

12. Badawy A.A-B., Guillemin G.J. Species differences in tryptophan metabolism and disposition. *International Journal of Tryptophan Research*. 2022;15:1-26. https://doi.org/10.1177/11786469221122511

13. Kashiwamata S., Nakashima K., Kotake Y. Anthranilic acid hydroxylation by rabbit-liver microsomes. *Biochimica et Biophysica Acta* (*BBA*) – *Enzymology and Biological Oxidation*. 1966;113(2):244-254. https://doi.org/10.1016/S0926-6593(66)80065-6

14. Sutamihardja T.M., Ishikura A., Naito J., Ishiguro I. Studies on the new metabolic pathway of anthranilic acid in the rat. I. Isolation and urinary excretion of anthranilamide as a new metabolite of anthranilic acid. *Chem. Pharm. Bull*. 1972;20:2694-2700

15. Ueda T., Otsuka H., Goda I-K., Ishiguro I. et. al. The metabolism of [carboxyl-14C] anthranilic acid I. The incorporation of radioactivity into NAD+ and NADP+. *The Journal of Biochemistry*. 1978;84(3):687-696. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a132174

16. Yao K., Fang J., Yin Y-I., Fend Z-M. et al. Tryptophan metabolism in animals: important roles in nutrition and health. *Frontiers in Bioscience-Scholar.* 2011;3(1):286-97. https://doi.org/10.2741/S152

17. Braidy N., Guillemin G.J., Mansour H., Chang-Ling T., Grant R. Changes in kynurenine pathway metabolism in the brain, liver and kidney of aged female Wistar rats. *The FEBS Journal.* 2011;278(22):4425-4434. https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2011.08366.x

18. Wirthgen E., Hoeflich A., Rebl A., Günther J. Kynurenic acid: the Janus-Faced Role of an Immunomodulatory Tryptophan Metabolite and Its Link to Pathological Conditions. *Frontiers in Immunology*. 2018;10:1957. https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01957

19. Sadok I., Jedruchniewicz K. Dietary Kynurenine Pathway Metabolites-Source, Fate, and Chromatographic Determination. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(22):16304. https://doi.org/10.3390/ijms242216304

of the Three Proteogenic Aromatic Amino Acids and Their Role in the Health of Plants and Animals. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2018;5(29):1-30. https://doi.org/10.3389/fmolb.2018.00029

12. Badawy A.A-B., Guillemin G.J. Species differences in tryptophan metabolism and disposition. *International Journal of Tryptophan Research*. 2022;15:1-26. https://doi.org/10.1177/11786469221122511

13. Kashiwamata S., Nakashima K., Kotake Y. Anthranilic acid hydroxylation by rabbit-liver microsomes. *Biochimica et Biophysica Acta* (*BBA*) – *Enzymology and Biological Oxidation*. 1966;113(2):244-254. https://doi.org/10.1016/S0926-6593(66)80065-6

14. Sutamihardja T.M., Ishikura A., Naito J., Ishiguro I. Studies on the new metabolic pathway of anthranilic acid in the rat. I. Isolation and urinary excretion of anthranilamide as a new metabolite of anthranilic acid. *Chem. Pharm. Bull*. 1972;20:2694-2700

15. Ueda T., Otsuka H., Goda I-K., Ishiguro I. et. al. The metabolism of [carboxyl-14C] anthranilic acid I. The incorporation of radioactivity into NAD+ and NADP+. *The Journal of Biochemistry*. 1978;84(3):687-696. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a132174

16. Yao K., Fang J., Yin Y-I., Fend Z-M. et al. Tryptophan metabolism in animals: important roles in nutrition and health. *Frontiers in Bioscience-Scholar.* 2011;3(1):286-97. https://doi.org/10.2741/S152

17. Braidy N., Guillemin G.J., Mansour H., Chang-Ling T., Grant R. Changes in kynurenine pathway metabolism in the brain, liver and kidney of aged female Wistar rats. *The FEBS Journal.* 2011;278(22):4425-4434. https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2011.08366.x

18. Wirthgen E., Hoeflich A., Rebl A., Günther J. Kynurenic acid: the Janus-Faced Role of an Immunomodulatory Tryptophan Metabolite and Its Link to Pathological Conditions. *Frontiers in Immunology*. 2018;10:1957. https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01957

19. Sadok I., Jedruchniewicz K. Dietary Kynurenine Pathway Metabolites-Source, Fate, and Chromatographic Determination. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(22):16304. https://doi.org/10.3390/ijms242216304

Сведения об авторе

Андрей Владленович Малиновский, инженер-технолог, специальное конструкторское технологическое бюро «Биофизприбор» – Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Экспериментально-производственные мастерские» Федерального медико-биологического агентства; 197183, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Сабировская, д. 37; e-mail: malinovskiy.andrey@yandex.ru

Information about the author

Andrey V. Malinovsky, Technical Engineer at the Special Design Technological Bureau (SDTB) “Biofizpribor”, St. Petersburg branch of the Federal State Unitary Enterprise “Experimental and Production Workshops” of Federal Biomedical Agency (37 Sabirovskaya St., St. Petersburg, 197183, Russian Federation); e-mail: malinovskiy.andrey@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.07.2024
Одобрена после рецензирования 28.09.2024
Принята к публикации 21.09.2024

The article was submitted to the editorial office July 27, 2024
Approved after reviewing September 28, 2024
Accepted for publication September 21, 2024

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ /
MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

МИКРОБИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 619: 631.854: 616.98
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76

Характеристика птицеводческих хозяйств России по болезням различной этиологии

Евгения Сергеевна Баранович[1], Тамара Владимировна Курмакаева[2], Анна Эдуардовна Семак[1], Елена Александровна Просекова[1], Нина Петровна Беляева[1]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия
[2] Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса, г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгения Сергеевна Баранович, e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru

Аннотация
Ведение промышленного птицеводства сопровождается различными инфекционными и инвазионными заболеваниями. Они имеют широкое распространение и занимают большой удельный вес в заразной патологии птиц, несмотря на принимаемые ветеринарными специалистами меры профилактики и борьбы с ними, что негативно сказывается на эпизоотической обстановке в птицеводстве. В работе приведены материалы по ретроспективному анализу заболеваемости птиц инфекционными и инвазионными болезнями за 5 лет (2018-2022 гг.) в птицеводческих хозяйствах РФ по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. За исследуемый период на территории РФ в птицеводческих хозяйствах регистрировались вирусные и бактериальные болезни (грипп птицы, колибактериоз, болезнь Ньюкасла, орнитоз, псевдомоноз, туберкулез, пастереллез, сальмонеллез, микоплазмоз, тиф-пуллороз, инфекционный ларинготрахеит, инфекционный бронхит кур, болезнь Марека), а также паразитарные и грибковые болезни (кокцидиоз, спирохетоз, саркоптозы, нематодозы и аспергиллез). Наибольшее количество заболевшей птицы вирусными болезнями регистрировали в 2021 г., бактериальными болезнями – в 2018 г., паразитарными и грибковыми – в 2020 г., что составило 28,289; 15,778; 0,036% соответственно. В субъектах с развитым птицеводством необходимо проводить оценку эпизоотической ситуации с целью определения степени эпизоотического риска в конкретных условиях, уровня потенциальной эпидемической угрозы наиболее распространенных зооантропонозных болезней птиц и своевременно осуществлять комплекс мероприятий по профилактике и ликвидации болезней в птицеводческих хозяйствах.

Ключевые слова
птица, вирусные, бактериальные, паразитарные и грибковые болезни, возбудитель болезни, анализ данных заболеваемости, комплекс ветеринарно-санитарных мероприятий

Для цитирования
Баранович Е.С., Курмакаева Т.В., Семак А.Э., Просекова Е.А., Беляева Н.П. Характеристика птицеводческих хозяйств России по болезням различной этиологии // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 69-76. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76

MICROBIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76

Characteristics of Russian poultry farms by diseases of different etiology

Evgeniya S. Baranovich[1], Tamara V. Kurmakaeva[2], Anna E. Semak[1], Elena A. Prosekova[1], Nina P. Belyaeva[1]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] Russian Academy of Personnel Support for the Agroindustrial Complex, Moscow, Russia

Corresponding author: Evgeniya S. Baranovich; e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru

Abstract
Industrial poultry farming is accompanied by various infectious and invasive diseases. They have a wide distribution and occupy a large share in the contagious pathology of birds, despite the measures of prevention and control taken

by veterinary specialists, which negatively affects the epizootic situation in poultry farming. The article presents materials on retrospective analysis of morbidity of birds with infectious and invasive diseases for 5 years (2018-2022) in Russian poultry farms according to the data of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. During the study period, viral and bacterial diseases (avian influenza, colibacillosis, Newcastle disease, ornithosis, pseudomonosis, tuberculosis, pasteurellosis, salmonellosis, mycoplasmosis, typhus-pullorosis, infectious laryngotracheitis, avian infectious bronchitis, Marek's disease) and parasitic and fungal diseases (coccidiosis, spirochetosis, sarcoptosis, nematodosis and aspergillosis) were registered. The highest number of sick poultry with viral diseases was recorded in 2021, bacterial diseases in 2018, and parasitic and fungal diseases in 2020, which amounted to 28.289, 15.778 and 0.036%, respectively. In regions with developed poultry farming it is necessary to assess the epizootic situation in order to determine the degree of epizootic risk in specific conditions, the level of potential epidemic threat of the most common zooanthroponotic diseases of birds and timely implement a set of measures to prevent and eliminate diseases in poultry farms.

Keywords
poultry, viral, bacterial, parasitic and fungal diseases, pathogen, analysis of morbidity data, complex of veterinary and sanitary measures

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Baranovich E.S., Kurmakaeva T.V., Semak A.E., Prosekova E.A., Belyaeva N.P**.** Characteristics of Russian poultry farms by diseases of different etiology. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):69-76. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76

Введение
Introduction

Вирусные, бактериальные, паразитарные и грибковые болезни остаются сдерживающим фактором при ведении птицеводства на промышленной основе и являются основной угрозой ветеринарного благополучия. Ряд авторов утверждает, что по сравнению с начальным этапом промышленного птицеводства картина инфекционной патологии птицы в настоящее время изменилась, наблюдаются изменения клинических симптомов инфекционных заболеваний и особенностей их патогенеза. Появление новых нозологических форм и вариантов известных болезней ввиду генетической трансформации микроорганизмов приводит к развитию смешанных инфекций, что затрудняет диагностику этих болезней [1-7, 9-11].

Несмотря на применяемые ветеринарными специалистами меры профилактики и борьбы, такие инфекционные и инвазионные болезни птицы, как патогенный грипп птиц, болезнь Ньюкасла, инфекционный ларинготрахеит птиц, болезнь Марека, инфекционный бронхит кур, колибактериоз, кокцидиоз, сальмонеллез, пастереллез и другие, негативно сказываются на эпизоотической обстановке в птицеводстве, имеют широкое распространение и приводят к экономическим потерям [1-10].

Среди вирусных болезней патогенный грипп птиц, болезнь Ньюкасла, инфекционный ларинготрахеит птиц и другие болезни наносят вред ветеринарному благополучию. По данным Всемирной организации здравоохранения животных (ВОЗЖ), представленных в сообщении Информационно-аналитического центра Россельхознадзора, в настоящее время выявлены новые очаги высокопатогенного гриппа птиц в Европе. Так, во Франции зарегистрирован 1 очаг высокопатогенного гриппа птиц на птицефабрике, где содержалось 27,5 тыс. гол., из них 53 гол. пали, остальных уничтожили. В Северной Македонии обнаружили 1 очаг гриппа птиц у гусей, уток и кур в зоопарке. В Германии зафиксировали 1 очаг гриппа птиц в дикой природе. В Венгрии 2 очага болезни зарегистрировали среди сельскохозяйственных птиц и 1 случай вируса выявили у крякв в дикой природе. В Исландии обнаружены 2 очага в дикой природе; в Молдове 2 очага гриппа птиц выявлено в личном подсобном хозяйстве. Известно, что в природе основным резервуаром высокопатогенного гриппа птиц являются дикие птицы. Перелетные птицы преодолевают значительные расстояния и способны заносить данную болезнь на новые территории, места остановок, кормления и гнездования. Они распространяют вирус в новые популяции, контактируя с местной фауной, поддерживают циркуляцию патогена и формируют новые миграционные очаги. Возбудитель патогенного гриппа птиц весьма устойчив во внешней среде, может сохраняться в течение длительного времени при низких температурах и легко распространяется между фермами, внутри экосистем, в том числе с контаминированными предметами ухода и оборудованием [2-4, 8-9].

По мнению ряда исследователей, бактериальные, паразитарные и грибковые болезни птиц представляют значительную угрозу птицеводству. Так, повсеместно распространенной и экономически значимой инвазионной болезнью всех видов домашней птицы остается кокцидиоз, который

вызывается возбудителем рода Eimeria и характеризуется поражением слизистой оболочки кишечника. Особенно восприимчив к болезни молодняк в возрасте до 3 месяцев в тех хозяйствах, где нарушены санитарно-гигиенические условия и птица содержится в скученном состоянии. Факторами передачи при алиментарном пути заражения кокцидиозом являются загрязненные ооцистами трава, питьевая вода, почва, подстилка в птичниках и клетках. Заболевание характеризуется воспалением и массовой гибелью инвазированных эймериями эпителиальных клеток слизистой кишечника, что ведет к нарушению всасывания питательных веществ, ослаблению организма и изменению состава микрофлоры [5-6, 10-11].

Причинами возникновения таких бактериальных болезней, как колибактериоз, сальмонеллез, пастереллез и другие, являются нарушение условий содержания и кормления на фоне снижения общей резистентности организма. Также они могут быть вторичными инфекциями или следствием скрытой циркуляции вируса в организме птицы, что обостряет развитие инфекционного процесса [1-2, 7-8, 10-11]. Ученые О.Б. Новикова и М.А. Павлова утверждают, что для возбудителя пастереллеза птиц характерно снижение вирулентности. Развивающееся при этом воспаление тканей в области подглазничных синусов, межчелюстного пространства характерно и при наличии в организме птиц других возбудителей, вызывающих респираторный синдром: микоплазм, стафилококков, эшерихий и др. Известно, что развитие иммуносупрессии у птиц могут вызывать микоплазмы, что негативно влияет на формирование специфического поствакцинального иммунитета. По мнению ряда авторов, сальмонеллез у птиц часто протекает бессимптомно. Сальмонеллы являются обитателями кишечника и опасными микроорганизмами в эпидемиологическом аспекте. При нарушении действующих санитарно-эпидемиологических норм и ветеринарно-санитарных правил бактерии кишечной микробиоты птиц, находящиеся в окружающей среде убойных цехов, на поверхностях технологического оборудования, загрязняют сырье и контаминируют получаемую птицеводческую продукцию, тем самым вызывая пищевые отравления людей. Поэтому от эпизоотического благополучия птицеводческих хозяйств в отношении болезней птицы и анализа статистических данных по заболеваемости птиц зависят здоровье людей и основные показатели эффективности птицеводства [7-8, 10-15].

Цель исследований: проведение статистического анализа заболеваемости птицы вирусными, бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями в птицеводческих хозяйствах страны по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Методика исследований
Research method

В работе использована методика ретроспективного анализа заболеваемости птицы инфекционными и инвазионными болезнями в период с 2018 по 2022 гг. в птицеводческих хозяйствах РФ. Для этого проведены отбор, подготовка выбранных исходных данных, их последующая структуризация и интерпретация полученных результатов. Разработана линейно-графическая схема-модель анализа заболеваемости вирусными, бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями птицы за исследуемый период.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

На основе ретроспективного анализа заболеваемости птицы инфекционными и инвазионными болезнями в птицеводческих хозяйствах страны за 5 лет (2018-2022 гг.) с учетом выявления неблагополучных пунктов и количества заболевшей птицы установлено, что за исследуемый период на территории РФ в птицеводческих хозяйствах регистрировали вирусные (грипп птицы, инфекционный ларинготрахеит, болезнь Ньюкасла, инфекционный бронхит кур, болезнь Марека), бактериальные (колибактериоз, псевдомоноз, орнитоз, сальмонеллез, пастереллез, туберкулез, микоплазмоз, тиф-пуллороз), а также паразитарные и грибковые болезни (кокцидиоз, спирохетоз, саркоптозы, нематодозы и аспергиллез).

За весь период исследований ежегодно среди вирусных болезней регистрировали грипп птицы (количество заболевшей птицы составило 2 605 807 гол. в 291 неблагополучном пункте); инфекционный ларинготрахеит (количество заболевшей птицы составило 19 270 гол. в 3 неблагополучных пунктах) и болезнь Ньюкасла (количество заболевшей птицы составило 11 273 гол. в 54 неблагополучных пунктах). Инфекционный бронхит кур регистрировали в 2018, 2019, 2020 и 2022 гг., когда выявили 176 гол. инфицированной птицы в 5 неблагополучных пунктах. В 2021 г. обнаружили болезнь Марека только в 1 неблагополучном пункте у 1 заболевшей гол. птицы.

Значительный удельный вес в инфекционной патологии птиц в нашей стране занимают бактериальные болезни. Нами установлено, что за 2018-2022 гг. в птицеводческих хозяйствах страны ежегодно регистрировали колибактериоз, орнитоз, сальмонеллез, пастереллез и туберкулез. За весь период исследований количество заболевших птиц колибактериозом составило 827 442 гол. в 190 неблагополучных пунктах. В отдельные годы широкое распространение имел псевдомоноз, при этом увеличение количества заболевших

Таблица

Ретроспективный анализ заболеваемости птицы инфекционными и инвазионными болезнями в РФ (2018-2022 гг., усредненные данные)

Отдельные показатели неблагополучия по инфекционным болезням птицы		Вирусные болезни	% к общему количеству заболевшей птицы	Бактериальные болезни	% к общему количеству заболевшей птицы	Паразитарные и грибковые болезни	% к общему количеству заболевшей птицы	Всего
2018 г.	количество заболевших, гол.	851 723	24,506	548 376	15,778	0	-	1400 099
2019 г.	количество заболевших, гол.	32 201	0,927	242 875	6,988	0	-	275 076
2020 г.	количество заболевших, гол.	719 004	20,687	34 376	0,989	1 268	0,036	754 648
2021 г.	количество заболевших, гол.	983 202	28,289	1 604	0,046	308	0,009	985 114
2022 г.	количество заболевших, гол.	50 397	1,450	9 712	0,279	495	0,014	60 604
Всего		2 636 527	75,86	836 943	24,08	2 071	0,06	3 475 541

Table

Retrospective analysis of infectious and invasive disease incidence in poultry in the Russian Federation (2018-2022, average data)

Selected indicators of poultry infectious disease insecurity		Viral diseases	% to total number of sick birds	Bacterial diseases	% to total number of sick birds	Parasitic and fungal diseases	% to total number of sick birds	Total
2018	number of sick birds	851 723	24,506	548 376	15,778	0	-	1400 099
2019	number of sick birds	32 201	0,927	242 875	6,988	0	-	275 076
2020	number of sick birds	719 004	20,687	34 376	0,989	1 268	0,036	754 648
2021	number of sick birds	983 202	28,289	1 604	0,046	308	0,009	985 114
2022	number of sick birds	50 397	1,450	9 712	0,279	495	0,014	60 604
Total		2 636 527	75,86	836 943	24,08	2 071	0,06	3 475 541

птиц не соответствовало увеличению числа неблагополучных пунктов. Так, в 2021 и 2022 гг. количество заболевших птиц псевдомонозом составило 6 774 гол. в 4 неблагополучных пунктах. Орнитоз регистрировали в 133 неблагополучных пунктах, где количество заболевшей птицы составило 2 313 гол. за 5 лет. Определенную эпизоотическую напряженность в птицеводческих хозяйствах за исследуемый период создавали сальмонеллез, пастереллез, туберкулез и микоплазмоз. Так, ежегодно выявляли сальмонеллез у 176 гол. в 18 неблагополучных пунктах, пастереллез – у 146 гол. в 14 неблагополучных пунктах, туберкулез – у 47 гол. в 14 неблагополучных пунктах. В 2018, 2019, 2021 и 2022 гг. регистрировался микоплазмоз птиц, при этом количество заболевших птиц составило 43 гол. Тиф-пуллороз регистрировали в 2018 г. у 2 гол. птицы в 1 неблагополучном пункте.

Определенную угрозу для птицеводческих хозяйств представляли паразитарные и грибковые болезни. В 2020, 2021 и 2022 гг. в хозяйствах выявляли кокцидиоз, общее количество заболевших птиц составило 1 127 гол. за исследуемый период. В 20220 г. обнаружили нематодозы (всего количество заболевших птиц составило 929 гол.), саркоптозы (всего количество заболевших птиц – 12 гол.), аспергиллез (всего количество заболевших птиц – 2 гол.), спирохетоз (всего количество заболевших птиц – 1 гол.).

В таблице представлены результаты ретроспективного анализа заболеваемости птицы вирусными, бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями за 2018-2022 гг.

Анализ полученных данных показывает, что наибольшее количество заболевшей птицы вирусными болезнями регистрировали в 2021 г., бактериальными болезнями – в 2018 г., паразитарными и грибковыми болезнями – в 2020 г., что составило 983 202; 548 376; 1 268 гол. соответственно. Наименьшее количество заболевшей вирусными болезнями птицы регистрировали в 2019 г., бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями – в 2021 г., что составило 32 201; 1 604; 308 гол. соответственно. Таким образом, в 2018-2022 гг. заболеваемость птицы вирусными болезнями варьировала от 0,927 до 28,289%; бактериальными болезнями – от 0,046 до 15,778%; паразитарными и грибковыми болезнями – от 0,009 до 0,036%. В результате анализа динамики заболеваемости птицы инфекционными болезнями была разработана линейно-графическая схема-модель ретроспективного анализа заболеваемости птицы вирусными, бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями (рис.).

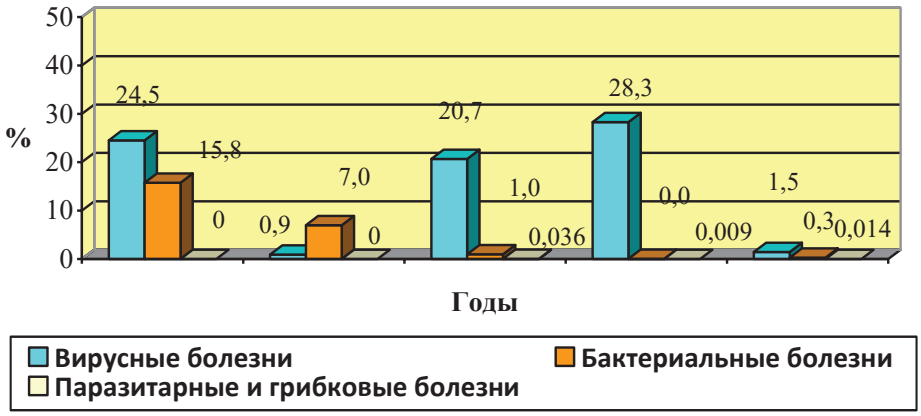


Рис. Линейно-графическая схема-модель ретроспективного анализа заболеваемости птицы инфекционными и инвазионными болезнями за 2018-2022 гг. (усредненные данные)

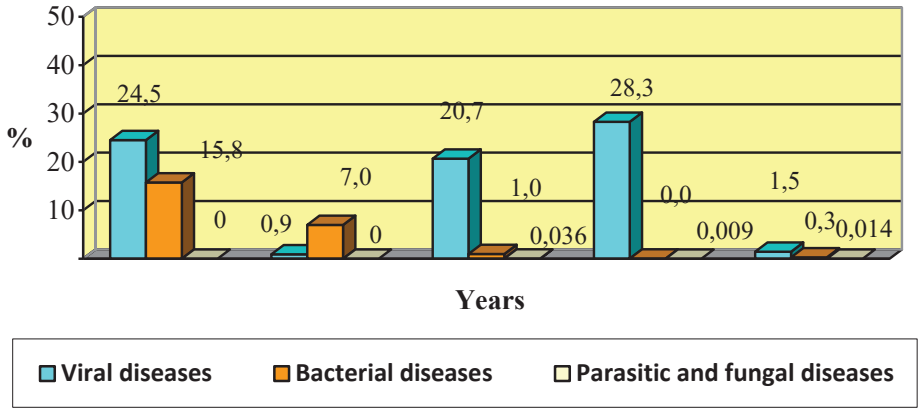


Fig. Line chart-model of retrospective analysis of infectious and invasive disease incidence in poultry for 2018-2022 (averaged data)

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что на протяжении рассматриваемого периода наиболее распространенными инфекциями и инвазиями в птицеводческих хозяйствах остаются патогенный грипп, колибактериоз, инфекционный ларинготрахеит, болезнь Ньюкасла, псевдомоноз, орнитоз, кокцидиоз, нематодозы, сальмонеллез, инфекционный бронхит кур, пастереллез, туберкулез и микоплазмоз. При этом определенная напряженность эпизоотической ситуации в хозяйствах принадлежит таким болезням различной этиологии, как болезнь Марека, тиф-пуллороз, саркоптозы, аспергиллез и спирохетоз. Следует отметить, что некоторые вышеперечисленные инфекционные болезни птицы относятся к зооантропонозам и в силу этого представляют опасность не только для современной птицеводческой отрасли, но и для потребителей продукции птицеводства.

Выводы
Conclusions

Проведенный анализ заболеваемости птицы вирусными, бактериальными, паразитарными и грибковыми болезнями в птицеводческих хозяйствах страны за 5 лет по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации показал, что в 2018-2022 гг. количество заболевшей птицы вирусными болезнями достигло 2 636 527 гол. (75,86% от общего количества заболевшей птицы на протяжении рассматриваемого периода), бактериальными болезнями – 836 943 гол. (24,08%), паразитарными и грибковыми болезнями – 2 071 гол. птицы (0,06%). Эти ретроспективные данные позволяют проследить заболеваемость птиц в структуре неблагополучия по инфекционным и инвазионным болезням, что дает возможность совершенствовать меры профилактики и борьбы с ними. Своевременное проведение диагностического, эпизоотологического и микробиологического мониторинга позволяет снизить риски возникновения инфекционных болезней. С учетом эпизоотической ситуации в конкретном птицеводческом хозяйстве, результатов лабораторно-диагностических исследований и биологических свойств возбудителей должна проводиться специфическая профилактика – в частности, применение современных эффективных препаратов, которые являются необходимой биологической защитой. Особое внимание в зонах неблагополучия по инфекционным и инвазионным болезням птицы должно быть направлено на гигиену выращивания и содержания птиц, соблюдение технологических процессов на всех участках производства, а также налаживание системы и контроля качества дезинфекции и дератизации.

Таким образом, современное интенсивное разведение и содержание птицы невозможно без соблюдения принципов внешней и внутренней биобезопасности, что позволит обеспечить эпизоотическое благополучие хозяйства, своевременно осуществлять меры по профилактике и ликвидации инфекционных и инвазионных болезней птицы и получать безопасную в ветеринарно-санитарном отношении продукцию.

Список источников

1. Джавадов Э.Д., Новикова О.Б., Красков Д.А., Березкин В.А. Болезни птиц, вызываемые условно-патогенной микрофлорой // *Эффективное животноводство*. 2023. Т. 188, № 6. С. 8-12. https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-6-8-12

2. Спиридонов А.Н., Петрова О.Н., Ирза В.Н., Караулов А.К., Никифоров В.В. Об эпизоотической ситуации по инфекционным болезням птиц на основе анализа данных ветеринарной отчетности // *Ветеринария сегодня*. 2015. Т. 15, № 4. С. 18-28. EDN VODNWV

3. Серегин И.Г., Баранович Е.С., Курмакаева Т.В., Гусарова М.Л. Инфекционные болезни, выявляемые при выращивании и переработке птицы // *БИО.* 2019. Т. 225, № 6. С. 14-17. EDN KGAKZY

4. Сообщения Информационно-аналитического центра Россельхознадзора. URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/iac/

5. Титова Т.Г., Бирюков И.М., Бочин В.А. Кокцидиоз кур и вакцинопрофилактика // *Эффективное животноводство*. 2018. Т. 147, № 8 С. 88-90. EDN YNRFNJ

References

1. Dzhavadov E.D., Novikova O.B., Kraskov D.A., Berezkin V.A. Bird diseases caused by opportunistic microflora. *Effektivnoe zhivotnovodstvo.* 2023;6:8-12. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-6-8-12

2. Spiridonov A.N., Petrova O.N., Irza V.N., Karaulov A.K., Nikoforovs V.V. Epizootic situation on infectious avian diseases based on analysis of data from veterinary reports. *Veterinary Science Today*. 2015;4:18-28. (In Russ.)

3. Seregin I.G., Baranovich E.S., Kurmakaeva T.V., Gusarova M.L. Infectious diseases detected during poultry farming and processing. *BIO.* 2019;6:14-17. (In Russ.)

4. Reports of the Rosselkhoznadzor Information and Analytical Center. (In Russ.) URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/iac/

5. Titova T.G., Biryukov I.M., Bochin V.A. Chicken coccidiosis and vaccination. *Effektivnoe zhivotnovodstvo.* 2018;8(147):88-90. (In Russ.)

6. Сафиуллин Р.Т., Шибитов С.К. Эффективность совместного назначения антикокцидийного препарата и биогенного стимулятора при спонтанном кокцидиозе бройлеров в производственном опыте // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2024. № 25. С. 357-362 https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.357-362

7. Курмакаева Т.В., Козак С.С., Баранович Е.С. К вопросу о заболеваемости птицы отдельными бактериальными болезнями иобеспечению биобезопасности // *Ветеринария сегодня*. 2024; Т. 13, № 2. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176

8. Курмакаева Т.В., Баранович Е.С., Еньшин А.В., Сауткин А.В. Значение отдельных бактериальных болезней для фермеров, занимающихся разведением и переработкой птицы // *«Дополнительное профессиональное образование АПК*: *научное и консультационное обеспечение»* (*информационное и консультационное обеспечение при реализации государственной аграрной политики*). М.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса», 2023. С. 223-233. EDN: VHTDPY

9. Жильцова М.В., Акимова Т.П., Варкентин А.В., Митрофанова М.Н. и др. Эпизоотическая ситуация в мире по гриппу птиц (2019-2022 гг.). Расширение спектра хозяев как проявление эволюции вируса высокопатогенного гриппа птиц // *Ветеринария сегодня*. 2023. Т. 12, № 4. С. 293-302. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-293-302

10. Новикова О.Б., Павлова М.А. Система контроля бактериальных болезней птиц в современных условиях промышленного птицеводства // *Инновации в АПК*: *проблемы и перспективы*. 2017. № 4(16). С. 153-159. EDN ZVZPHB

11. Борисенкова А.Н., Новикова О.Б. О контроле бактериальных болезней птиц // *Сельскохозяйственные вести*. 2014. № 4. С. 57.

12. Серегин И.Г., Никитченко Д.В., Абдуллаева А.М. О болезнях пищевого происхождения // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия*: *Агрономия и животноводство*. 2015. № 4. С. 101-107. EDN UXMBJJ

13. Рузина А.В., Рождественская Т.Н., Панкратов С.В. Эпизоотологические и эпидемиологические аспекты сальмонеллеза птиц // *Птица и птицепродукты*. 2022. № 5. С. 35-37. EDN DDBZYA

14. Козак С.С., Баранович Е.С., Козак Ю.А. Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 3. С. 71-77. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77

15. Александрова Я.Р., Козак С.С., Боровков М.Ф., Баранович Е.С. и др. Выявление сальмонелл в биологическом материале животных, птицы и животноводческой продукции // *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2023; № 1(24). С. 45-49. https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea

6. Safiullin R.T., Shibitov S.K. Efficiency of joint administration of anticoccidial drug and a biogenic stimulant against spontaneous coccidiosis of broilers in a farm scale trial. *Teoriya i praktika borby s parazitarnymi boleznyami.* 2024;25:357-362. (In Russ.) https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.357-362

7. Kurmakaeva T.V., Kozak S.S., Baranovich E.S. On occurrence of some avian bacterial diseases and biosafety provision. *Veterinary Science Today*. 2024;13(2):171-176. (In Russ.) https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176

8. Kurmakaeva T.V., Baranovich E.S., Enshin A.V., Sautkin A.V. The importance of individual bacterial diseases for farmers engaged in poultry breeding and processing. 4-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya *'Dopolnitelnoe professionalnoe obrazovanie APK*: *nauchnoe i konsultatsionnoe obespechenie* (*informatsionnoe i konsultatsionnoe obespechenie pri realizatsii gosudarstvennoy agrarnoy politiki*)*'. February 08, 2023.* Moscow, Russia: FGBOU DPO RAKO APK, 2023:223-233. (In Russ.)

9. Zhiltsova M.V., Akimova T.P., Varkentin A.V., Mitrofanova M.N. et al. Global avian influenza situation (2019-2022). Host range expansion asevidence of high pathogenicity avian influenza virus evolution. *Veterinary Science Today*. 2023;12(4):293-302. (In Russ.) https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-293-302

10. Novikova O.B., Pavlova M.A. System of control of bacterial diseases of birds in modern conditions of industrial poultry. *Innovations in Agricultural Complex*: *Problems and Perspectives.* 2017;4:153-159. (In Russ.)

11. Borisenkova A.N., Novikova O.B. On the control of bacterial diseases of birds. *Agricultural News.* 2014;4:57. (In Russ.)

12. Seryogin I.G., Nikitchenko D.V., Abdullaeva A.M. About illness of foodborne diseases. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries.* 2015;4:101-107. (In Russ.)

13. Ruzina A.V., Rozhdestvenskaya T.N., Pankratov S.V. Epizootological and epidemiological aspects of avian salmonellosis. *Poultry & Chicken Products.* 2022;5:35-37. (In Russ.)

14. Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Salmonellosis Incidence in Farm Animals and Poultry. *Timiryazev Biological Journal.* 2023;1(3):71-77. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77

15. Alexandrova Ya.R., Kozak S.S., Borovkov M.F., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Detection of salmonella in biological material of animals, poultry and livestock products. *Vestnik Chuvash State Agrarian University.* 2023;1:45-49. (In Russ.) https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea

Сведения об авторах

Евгения Сергеевна Баранович, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4689-2510

Тамара Владимировна Курмакаева, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры агробиотехнологии, Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса; Россия, г. Москва, ул. Оренбургская, 15Б; e-mail: t.kurmakaeva@rako-apk.ru; https://orcid.org/0000-0002-2639-2933

Анна Эдуардовна Семак, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: asemak@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-1968-4284

Елена Александровна Просекова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: eprosekova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-1819-0618

Нина Петровна Беляева, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимиря зева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: anatomy_muz@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0009-0006-0199-5662

Information about the authors

Evgeniya S. Baranovich, CSc (Vet), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4689-2510

Tamara V. Kurmakaeva, CSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Agrobiotechnology, Russian Academy of Personnel Support for the Agroindustrial Complex (15B Orenburgskaya St., Moscow, 111621, Russian Federation); e-mail: t.kurmakaeva@rako-apk.ru; https://orcid.org/0000-0002-2639-2933

Anna E. Semak, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: asemak@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-1968-4284

Elena A. Prosekova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: eprosekova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-1819-0618

Nina P. Belyaeva, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: anatomy_muz@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0009-0006-0199-5662

Статья поступила в редакцию 05.07.2024
Одобрена после рецензирования 28.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

The article was submitted to the editorial office July 05, 2024
Approved after reviewing August 28, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ /
ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 591.16:597.8
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-77-83

Влияние температуры воды на личиночное развитие восточной квакши (*Hyla orientalis,* Amphibia, Anura, Hylidae) при лабораторном выращивании

Артем Александрович Кидов, Роман Александрович Иволга, Татьяна Эдуардовна Кондратова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Эдуардовна Кондратова, t.kondratova@rgau-msha.ru

Аннотация
Восточная квакша (*Hyla orientalis*) сокращает свою численность на северной и восточной периферии ареала. Восстановление угасающих популяций земноводных возможно при помощи лабораторного разведения и реинтродукции. В работе представлены результаты изучения личиночного развития *H. orientalis* при различной температуре воды. Рожденных в неволе личинок рассаживали по 18 особей в контейнеры размером 39 × 28 × 28 см, наполненные 18 л воды. Выращивание от перехода личинок на экзогенное питание до выхода на сушу осуществляли в двукратной повторности при постоянной температуре воды 20, 23, 26, 29 и 32°С. При всех применяемых температурных режимах молодь восточной квакши характеризовалась высокой выживаемостью (94,4-100%). Повышение температуры способствовало сокращению периода личиночного развития и уменьшению размеров молоди после окончания метаморфоза. Авторы считают, что для выращивания личинок этого вида в искусственных условиях наиболее предпочтительна температура воды 26°С, поскольку в этих условиях вырастает крупная молодь за короткий срок. Результаты работы могут быть использованы специалистами по охране природы, сотрудниками питомников, ООПТ и зоопарков при проведении мероприятий по восстановлению численности *H. orientalis*.

Ключевые слова
бесхвостые земноводные, температурный режим, абиотический фактор, влияние температуры воды, личиночное развитие восточной квакши, лабораторное выращивание восточной квакши

Для цитирования
Кидов А.А., Иволга Р.А., Кондратова Т.Э. Влияние температуры воды на личиночное развитие восточной квакши (*Hyla orientalis*, Amphibia, Anura, Hylidae) при лабораторном выращивании // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 77-83. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-77-83

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-77-83

Impact of water temperature on larval development of the eastern tree frog (*Hyla orientalis,* Amphibia, Anura, Hylidae) in laboratory rearing

Artem A. Kidov, Roman A. Ivolga, Tatyana E. Kondratova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Tatyana E. Kondratova; t.kondratova@rgau-msha.ru

Abstract
The eastern tree frog (*Hyla orientalis*) is declining at the northern and eastern periphery of its range. Restoration of declining amphibian populations is possible through laboratory breeding and reintroduction. This paper presents the results of a study of larval development of *H. orientalis* at different water temperatures. Captive-born larvae were reared in 18 individuals in containers

of 39 × 28 × 28 cm filled with 18 litres of water. The rearing from the transition of the larvae to exogenous feeding until landing was carried out twice at constant water temperatures of 20°C, 23°C, 26°C, 29°C and 32°C. The juveniles of the eastern tree frog were characterized by a high survival rate (94.4-100%) under all applied temperature regimes. Higher temperatures contributed to a shorter period of larval development and a reduction in the size of juveniles after the end of metamorphosis. The authors believe that a water temperature of 26°C is the most suitable for rearing larvae of this species in artificial conditions, since under these conditions large juveniles grow in a short period of time. The results of the work can be used by conservationists, staff of breeding centers, protected areas and zoos when implementing measures to restore the numbers of *H. orientalis.*

Keywords
tailless amphibians, temperature regime, abiotic factor, effect of water temperature, larval development of eastern tree frog, laboratory rearing of eastern tree frog

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Kidov A.A., Ivolga R.A., Kondratova T.E. Impact of water temperature on larval development of the eastern tree frog (*Hyla orientalis*, Amphibia, Anura, Hylidae) in laboratory rearing. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):77-83. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-77-83

Введение
Introduction

Температура среды относится к числу важнейших факторов, влияющих на рост и развитие животных, определяя их распространение, распределение, численность, экологию[1]. Эктотермные организмы, включая низшие группы позвоночных, особенно чувствительны к колебаниям температуры [1], поскольку их метаболизм напрямую зависит от этого фактора среды [2]. В связи с этим закономерно, что глобальные климатические изменения, способствующие повышению температуры и усилению аридизации на большей площади нашей планеты, сказываются прежде всего на животных, чье развитие протекает в небольших пресных водоемах [3]. Земноводные, несмотря на свою широкую представленность в большинстве сухопутных и околоводных местообитаний, являются одной из наиболее уязвимых групп перед лицом потепления планетарного масштаба [4]. Именно повышение температуры указывается как основной лимитирующий фактор для многих редких, исчезающих и узкоареальных амфибий [5].

Восточная квакша (*Hyla orientalis* Bedriaga, 1890) в прошлом была широко распространена на Русской равнине и в Передней Азии, однако уже к концу XX в. стала стремительно исчезать во многих местообитаниях, особенно на восточной периферии ареала[2]. Это послужило основанием для внесения вида в ряд региональных списков охраняемых животных (Красная книга Ставропольского края, Курской области, Белгородской области) [6]. При этом вид вымер на многих особо охраняемых природных территориях, что нельзя объяснить влиянием общеизвестных антропогенных факторов (уничтожение местообитаний, гибель на дорогах).

По всей видимости, восстановление периферийных популяций *H. orientalis* требует специальных мероприятий по их искусственному воспроизводству и реинтродукции. Например, успешным примером является реинтродукция восточной квакши в Латвию из Беларуси: потомство было получено в неволе и выпущено в Лиепайский район[3,4], в результате чего образовалась популяция, расселившаяся на площади 800-900 км^2 [8]. В этой связи представляют существенный интерес исследования, направленные на подбор оптимальных условий для выращивания восточной квакши в искусственно созданной среде обитания.

Цель исследований: дать характеристику влияния различного градиента температур на рост, развитие и выживаемость личинок восточной квакши в наиболее критичный период их онтогенеза: от перехода на экзогенное питание до выхода на сушу после завершения метаморфоза.

Методика исследований
Research method

Исследования осуществляли в 2024 г. на личинках, полученных от лабораторного размножения пары квакш, отловленных на озере Эрцо (Дзауский район, Республика Южная Осетия). После начала личинками внешнего питания (21-24 стадии по таблице нормального развития Госнера[5]) из полученного потомства случайным образом были отобраны 180 особей. Личинок рассаживали по 18 особей в полипропиленовые

[1] Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. *Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных*: Монография. Свердловск: Уральский филиал Академии наук СССР, 1968. 386 с. EDN: SIPNJB.

[2] Лада Г.А. *Бесхвостые земноводные* (*Anura*) *Русской равнины*: *изменчивость, видообразование, ареалы, проблемы охраны*: *Дис. … д-ра биол. наук.* Казань, 2012. 628 с.

[3] Звиргздс Ю.К., Вилнитис В.А. Разведение обыкновенной квакши (*Hyla arborea* L.) для интродукции // *Зоокультура амфибий*. 1990. С. 93-100.

[4] Zvirgzds J., Stašuls M., Vilnītis V. Reintroduction of the European Tree Frog (*Hyla arborea*) in Latvia. *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica.* 1995;71:139-142.

контейнеры марки Samla (производитель – ИКЕА, Россия) размером 39 × 28 × 28 см, наполненные 18 л воды, то есть плотность посадки – 1 особь на 1 л воды. Выращивание осуществляли в двукратной повторности при температуре воды 20, 23, 26, 29, 32°С, которую поддерживали при помощи снабженных термореле водных обогревателей марки «Aquael Platinium Heater» (производитель – Aquael, Польша) мощностью 100 Вт. Подмену 2/3 объема воды на отстоянную того же состава осуществляли ежедневно. После каждой подмены воды личинкам вволю предлагали полнорационный комбикормом для рыб марки «Tetra-Min Flakes» (производитель – Tetra GmbH, Германия) и ошпаренные кипятком листья крапивы.

После окончания метаморфоза (полная резорбция хвостового плавника и выход на сушу – 46 стадия по таблице нормального развития Госнера) оценивали выживаемость, длительность личиночного развития, длину и массу тела молодых квакш.

Статистический анализ и визуализацию данных осуществляли в программе Statistica 14.0 и OriginPro 2022. Рассчитывали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD) и размах (min-max) исследуемых признаков. Нормальность и гомогенность распределения выборок проверяли критериями Лиллиефорса и Левена. Статистическую достоверность различий в длительности личиночного развития оценивали однофакторным дисперсионным анализом (F). Для оценки остальных признаков использовали ковариационный анализ (F) с длительностью личиночного развития в качестве ковариаты, а при попарном сравнении групп использовали тест Тьюки (Q). Для определения взаимосвязи изучаемых признаков у молодых квакш и температуры воды использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

В каждой опытной группе средняя выживаемость личинок от начала экзогенного питания до окончания метаморфоза была высокой (94,4-100%). Данный показатель статистически значимо не различался у личинок из разных экспериментальных групп ($F_{4,5}$ = 1,005; p = 0,484) и не зависел (r = –0,32; p > 0,05) от температурного режима выращивания (табл.).

Таблица

Показатели личиночного развития *Hyla orientalis* при различной температуре выращивания

Температура, °С	Повторность	Выживаемость, %	Длительность личиночного развития, сутки		Длина тела (L) при выходе на сушу, мм		Масса тела (m) при выходе на сушу, г	
			M±SD	min-max	M±SD	min-max	M±SD	min-max
20	1	100,0	38,6±5,40	32-51	15,94±0,839	14,55-18,03	0,40±0,069	0,29-0,56
	2	100,0	37,9±6,27	32-50	15,71±1,033	13,85-17,83	0,40±0,064	0,28-0,49
	среднее	100,0	38,2±5,78	32-51	15,83±0,935	13,85-18,03	0,40±0,066	0,28-0,56
23	1	100,0	38,2±3,46	35-48	15,75±0,948	14,19-17,62	0,37±0,072	0,28-0,56
	2	88,9	36,6±4,30	32-46	15,60±0,843	14,21-17,00	0,35±0,050	0,27-0,43
	среднее	94,4	37,4±3,91	32-48	15,68±0,890	14,19-17,62	0,36±0,062	0,27-0,56
26	1	100,0	32,9±3,84	26-40	16,06±0,841	14,42-17,82	0,42±0,072	0,31-0,61
	2	94,4	32,4±3,71	28-44	15,60±0,852	13,90-17,07	0,39±0,069	0,29-0,54
	среднее	97,2	32,7±3,732	26-44	15,84±0,865	13,90-17,82	0,40±0,071	0,29-0,61
29	1	100,0	31,7±3,38	26-38	14,81±0,909	13,75-16,81	0,34±0,059	0,24-0,48
	2	100,0	30,8±3,204	24-37	15,12±1,148	13,24-17,36	0,35±0,083	0,24-0,49
	среднее	100,0	31,3±3,27	24-38	14,97±1,033	13,24-17,36	0,35±0,071	0,24-0,49
32	1	94,4	31,0±2,62	27-36	14,74±0,841	13,65-15,95	0,34±0,067	0,26-0,48
	2	94,4	31,9±2,59	27-36	14,92±0,816	13,41-16,21	0,33±0,060	0,25-0,46
	среднее	94,4	31,5±2,61	27-36	14,83±0,821	13,41-16,21	0,34±0,062	0,25-0,48

[5] Gosner K.L. A simplified table for staging anuran embryos and larvae. *Herpetologica*. 1960;16:183-190.

Table

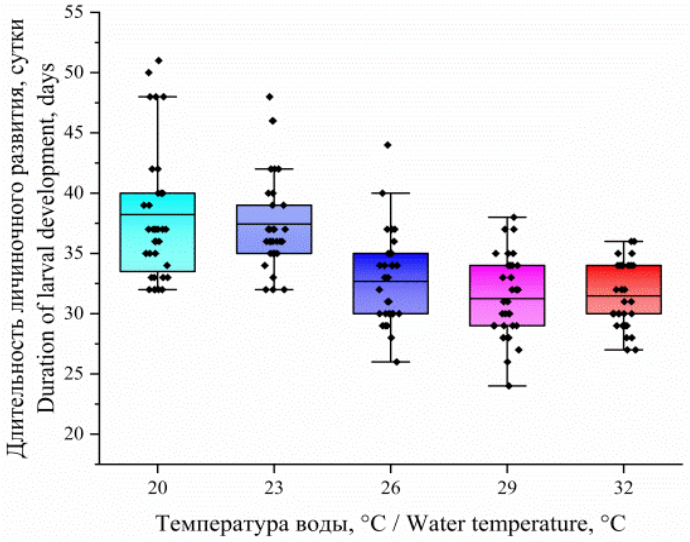
Indicators of larval development of *Hyla orientalis* at different rearing temperatures

Temperature, °C	Replication	Survival rate, %	Duration of larval development, days		Body length (L) at landfall, mm		Body mass (m) at landfall, g	
			M±SD	min-max	M±SD	min-max	M±SD	min-max
20	1	100.0	38.6±5.40	32-51	15.94±0.839	14.55-18.03	0.40±0.069	0.29-0.56
	2	100.0	37.9±6.27	32-50	15.71±1.033	13.85-17.83	0.40±0.064	0.28-0.49
	average	100.0	38.2±5.78	32-51	15.83±0.935	13.85-18.03	0.40±0.066	0.28-0.56
23	1	100.0	38.2±3.46	35-48	15.75±0.948	14.19-17.62	0.37±0.072	0.28-0.56
	2	88.9	36.6±4.30	32-46	15.60±0.843	14.21-17.00	0.35±0.050	0.27-0.43
	average	94.4	37.4±3.91	32-48	15.68±0.890	14.19-17.62	0.36±0.062	0.27-0.56
26	1	100.0	32.9±3.84	26-40	16.06±0.841	14.42-17.82	0.42±0.072	0.31-0.61
	2	94.4	32.4±3.71	28-44	15.60±0.852	13.90-17.07	0.39±0.069	0.29-0.54
	average	97.2	32.7±3.732	26-44	15.84±0.865	13.90-17.82	0.40±0.071	0.29-0.61
29	1	100.0	31.7±3.38	26-38	14.81±0.909	13.75-16.81	0.34±0.059	0.24-0.48
	2	100.0	30.8±3.204	24-37	15.12±1.148	13.24-17.36	0.35±0.083	0.24-0.49
	average	100.0	31.3±3.27	24-38	14.97±1.033	13.24-17.36	0.35±0.071	0.24-0.49
32	1	94.4	31.0±2.62	27-36	14.74±0.841	13.65-15.95	0.34±0.067	0.26-0.48
	2	94.4	31.9±2.59	27-36	14.92±0.816	13.41-16.21	0.33±0.060	0.25-0.46
	average	94.4	31.5±2.61	27-36	14.83±0.821	13.41-16.21	0.34±0.062	0.25-0.48

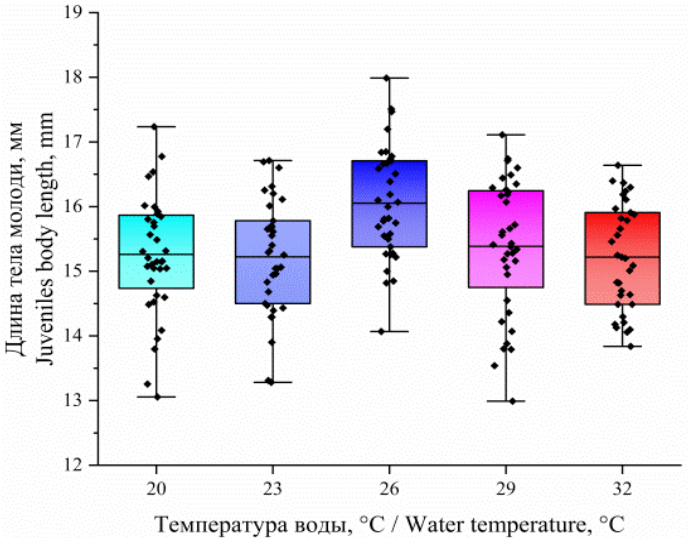
Средняя длительность личиночного развития достоверно различалась у особей из разных экспериментальных групп ($F_{4, 170} = 24,558$; $p < 0,001$) и сокращалась с повышением температуры воды ($r = –0,58$; $p < 0,05$). Так, особи, которых выращивали при 20 и 23°C, завершали метаморфоз позже, чем сибсы, росшие при температуре воды 26°C ($Q = 8,21$; $p < 0,001$ и $Q = 6,95$; $p < 0,001$ соответственно), 29°C ($Q = 10,41$; $p < 0,001$ и $Q = 9,11$; $p < 0,001$ соответственно) и 32°C ($Q = 9,37$; $p < 0,001$ и $Q = 8,66$; $p < 0,001$ соответственно) (рис. А).

Разброс длины тела молодых квакш после окончания метаморфоза из разных экспериментальных групп сильно перекрывался (рис. Б) и в каждой опытной группе зависел от длительности личиночного развития ($r = 0,45$-$0,76$; p всегда $< 0,05$). Кроме того, была обнаружена достоверная отрицательная связь длины тела и температурного режима выращивания личинок ($r = –0,37$; $p < 0,05$): крупные особи (длина тела > 15 мм) чаще выходили из контейнеров с низкой (20 и 23°C) и средней (26°C) температурой воды, а мелкие (длина тела < 15 мм) – чаще из контейнеров с высокой (29 и 32°C) температурой воды. Длина тела с длительностью личиночного развития в качестве ковариаты статистически значимо различалась у молодых квакш ($F_{4, 170} = 5,297$; $p < 0,001$): особи, которых выращивали при 26°C, в среднем были достоверно самыми крупными ($Q = 4,36$-$5,37$; $p = 0,001$-$0,018$) (рис. Б).

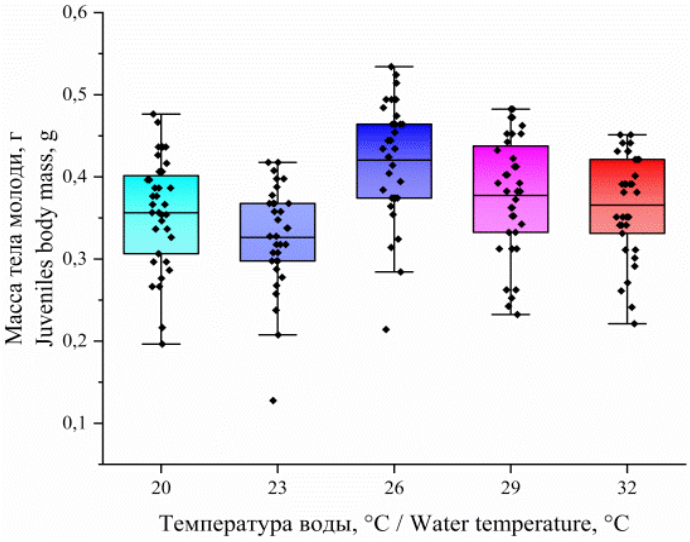
При сравнении массы тела молодых квакш после окончания метаморфоза из разных экспериментальных групп, как и в случае с длиной тела, разброс показателя сильно перекрывался (рис. В), а показатель зависел от длительности личиночного развития в каждой опытной группе ($r = 0,45$-$0,78$; p всегда $< 0,05$) и температуры выращивания ($r = –0,30$; $p < 0,05$). Наиболее увесистыми (масса тела в среднем – 0,40 г) были особи, которые росли при температуре 20 и 26°C. Масса тела статистически значимо различалась у молодых квакш (длительность тела в качестве ковариаты; $F_{4, 170} = 5,297$; $p < 0,001$): особи, которых выращивали при температуре 26°C, в среднем были достоверно крупнее сибсов, росших при 20°C ($Q = 5,72$; $p < 0,001$), 23°C ($Q = 8,29$; $p < 0,001$) и 32°C ($Q = 4,82$; $p = 0,005$) (рис. В).



А



Б



В

Рис. Длительность личиночного развития (А), длина тела (длительность личиночного развития в качестве ковариаты) (Б) и масса тела (длительность личиночного развития в качестве ковариаты) (В) тела завершившей метаморфоз молоди *Hyla orientalis* при выращивании личинок в разных температурных режимах

Fig. Duration of larval development (A), body length (duration of larval development as a covariate) (B) and body mass (duration of larval development as a covariate) (C) of metamorphosed juveniles of *Hyla orientalis* larvae reared under different temperature regimes

Традиционно повышение температуры окружающей среды способствует увеличению интенсивности метаболизма у эктотермных позвоночных [2]. Считается, что компенсаторным ответом на это станет уменьшение размеров животных в сообществах [9, 10]. Также исследователи указывают на то, что повышенная температура воды во время личиночного развития может привести к уменьшению размерных показателей молоди в связи с адаптивным ответом на стресс. Было показано, что у личинок, которые развивались в воде при температуре 30°C, концентрация дермальных глюкокортикоидов была значительно выше, чем у особей, выращенных при 25°C, что является косвенным показателем физиологического стресса животных [11].

Результаты нашей работы демонстрируют схожие тенденции: при устранении влияния длительности личиночного развития на размерно-весовые показатели молодых квакш длина и масса тела особей увеличивались с повышением температуры и достигли своего пика у сибсов, которых выращивали при 26°C, а затем начали уменьшаться. По всей видимости, увеличение размеров тела в градиенте 20-26°C связано с температурными предпочтениями данного вида, поскольку в естественной среде личинки квакши развиваются в эфемерных, быстро прогреваемых водоемах [6].

Выводы
Conclusions

Таким образом, личинки восточной квакши характеризуются высокой толерантностью к температуре воды в пределах 20-32°C. При всех вариантах выращивания они характеризовались высокой выживаемостью, а длительность личиночного развития и размеры молоди при выходе на сушу соответствовали изменчивости, отмеченной для этого вида в природе [6]. Также у восточной квакши, как и у других изученных в условиях лаборатории видов бесхвостых амфибий [12, 13], повышение температуры способствует сокращению периода личиночного развития и уменьшению размеров молоди при прохождении метаморфоза.

Для выращивания личинок в искусственных условиях наиболее предпочтительна температура воды 26°C, поскольку эти условия позволяют получать крупную молодь в кратчайшие сроки.

Список источников

1. Gillooly J.F., Charnov E.L., West G.B., Savage V.M. et al. Effects of Size and Temperature on Development Time. *Nature*. 2002;417:70-73. https://doi.org/10.1038/417070a

2. Brown J.H., Gillooly J.F., Allen A.P., Savage V.M. et al. Toward a Metabolic Theory of Ecology. *Ecology*. 2004;85(7):1771-1789. https://doi.org/10.1890/03-9000

3. Romano A., Bernabò I., Rosa G., Salvidio S. et al. Artificial paradises: Man-made sites for the conservation of amphibians in a changing climate. *Biological Conservation*. 2023;286(38):110309. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110309

4. Lötters S., Plewnia A., Catenazzi A. Neam K. et al. Ongoing harlequin toad declines suggest the amphibian extinction crisis is still an emergency. *Commun Earth Environ*. 2023;4:412. https://doi.org/10.1038/s43247-023-01069-w

5. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K., Hobin L. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*. 2023;622:308-314. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4

6. Кузьмин С.Л. *Земноводные бывшего СССР*: Монография. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 370 с. EDN: YNDCGL

7. Кукушкин О.В. Рамки сезонной активности и фенология размножения двух видов бесхвостых амфибий (Anura: Bufonidae; Hylidae) Карадагского природного заповедника

References

1. Gillooly J.F., Charnov E.L., West G.B., Savage V.M. et al. Effects of Size and Temperature on Development Time. *Nature.* 2002;417:70-73. https://doi.org/10.1038/417070a

2. Brown J.H., Gillooly J.F., Allen A.P., Savage V.M. et al. Toward a Metabolic Theory of Ecology. *Ecology.* 2004;85(7):1771-1789. https://doi.org/10.1890/03-9000

3. Romano A., Bernabò I., Rosa G., Salvidio S. et al. Artificial paradises: Man-made sites for the conservation of amphibians in a changing climate. *Biological Conservation.* 2023;286(38):110309. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110309

4. Lötters S., Plewnia A., Catenazzi A. Neam K. et al. Ongoing harlequin toad declines suggest the amphibian extinction crisis is still an emergency. *Commun Earth Environ.* 2023;4:412. https://doi.org/10.1038/s43247-023-01069-w

5. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K., Hobin L. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature.* 2023;622:308-314. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4

6. Kuzmin S.*L. Amphibians of the Former USSR*: a monograph. Moscow: КМК, 2012:370. (In Russ.)

7. Kukushkin O.V. Frames of seasonal activity and the reproductive phenology of two species of anuran amphibians (Anura: Bufonidae; Hylidae) of the Karadag Nature Reserve in Crimea. *University Proceedings.*

в Крыму // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* 2023. № 4. С. 17-39. https://doi.org/10.21685/2307-9150-2023-4-2

8. Dunce I., Zvirgzds J. The European Tree Frog Reintroduction in Latvia // *Russian Journal of Herpetology*. 2005;12 (S):138-139. EDN: QAPAGH

9. Atkinson D. Temperature and Organism Size – A Biological Law for Ectotherms? *Advances in Ecological Research*. 1994;25:1-58. https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60212-3

10. Merckx T., Souffreau C., Kaiser A., Baardsenet L.F. et al. Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature*. 2018;558:113-116. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0140-0

11. Sheun J., Venter L., Ganswindt A. A frog in hot water: the effect of temperature elevation on the adrenal stress response of an African amphibian. *PeerJ*. 2024;12(1): e17847. https://doi.org/10.7717/peerj.17847

12. Африн К.А. Рост, развитие и выживаемость личинок кавказской жабы Bufo verrucosissimus (Amphibia, Anura, Bufonidae) при различной температуре // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 57, № 3. С. 94-98. EDN: DQZUBB

13. Кидов А.А., Кондратова Т.Э., Иволга Р.А., Соколова А.Д. Влияние температуры на личиночное развитие зеленой жабы (*Bufotes viridis*, Amphibia, Anura, Bufonidae) в зоокультуре // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 1. С. 30-34. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-29-34

Volga Region. Natural Sciences. 2023;4:17-39. (In Russ.) https://doi.org/10.21685/2307-9150-2023-4-2

8. Dunce I., Zvirgzds J. The European Tree Frog Reintroduction in Latvia. *Russian Journal of Herpetology.* 2005;12(S):138-139.

9. Atkinson D. Temperature and Organism Size – A Biological Law for Ectotherms? *Advances in Ecological Research.* 1994;25:1-58. https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60212-3

10. Merckx T., Souffreau C., Kaiser A., Baardsenet L.F. et al. Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature.* 2018;558:113-116. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0140-0

11. Sheun J., Venter L., Ganswindt A. A frog in hot water: the effect of temperature elevation on the adrenal stress response of an African amphibian. *PeerJ.* 2024;12(1): e17847. https://doi.org/10.7717/peerj.17847

12. Afrin K.A., Stepankova I.V., Kidov A.A. Growth, development and survival of *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) larvae at different temperature. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2020;57(3):94-98. (In Russ.)

13. Kidov A.A., Kondratova T.E., Ivolga R.A., Sokolova A.D. Impact of Temperature on Larval Development of the Green Toad (Bufotes Viridis, Amphibia, Anura, Bufonidae) in Captivity. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(1):29-34. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-29-34

Сведения об авторах

Артем Александрович Кидов, заведующий кафедрой зоологии, доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kidov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-9328-2470

Роман Александрович Иволга, ассистент кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: romanivolga@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-2050-5279

Татьяна Эдуардовна Кондратова, ассистент кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: t.kondratova@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-7533-7327

Information about the authors

Artem A. Kidov, DSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: kidov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9328-2470

Roman A. Ivolga, Assistant at the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: romanivolga@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2050-5279

Tatyana E. Kondratova, Assistant at the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: t.kondratova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7533-7327

Статья поступила в редакцию 06.08.2024
Одобрена после рецензирования 28.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

The article was submitted to the editorial office
August 06, 2024
Approved after reviewing August 28, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 664.7: 613.3.03
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-84-91

Кальций как фактор структурирования энтеральной среды

Дмитрий Анатольевич Ксенофонтов, Анжелика Александровна Ксенофонтова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Анатольевич Ксенофонтов, dksenofontov@rgau-msha.ru

Аннотация
В экспериментах на животных разных видов проведены исследования по изучению показателей метаболизма кальция на уровне тонкого и толстого отделов кишечника. У моно- и полигастричных животных методом центрифугирования изучали фракционный состав химуса и определяли концентрацию кальция в его экзогенных и эндогенных компонентах методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Методом малоугловой дифракции проведен рентгеноструктурный анализ нативного химуса из разных отделов пищеварительного тракта кроликов, фиксированного на пленке. Установлено, что по мере продвижения по кишечнику в химусе и его эндогенной фракции уровень кальция возрастает с преобладающей относительной долей среди других минеральных элементов. На рентгенограммах получены дифракционные максимумы, превышающие по ширине размеры истинных кристаллов и характерные для аморфных кристаллических веществ. Сделано заключение об общебиологическом феномене депонирования кальция эндогенными структурами химуса для формирования наноупорядоченного каркаса энтероплазмы. Установленные в ходе экспериментов закономерности энтерального обмена кальция у животных разных видов имеют научную значимость в плане изучения механизмов его гомеостаза в организме и практическую ценность в области уточнения норм минерального питания с учетом значительной кумуляции кальция эндогенными компонентами тонкого и толстого отделов кишечника. Рентгеноструктурный анализ химуса дополняет теоретическую базу в концепции полосного пищеварения и позволяет провести предварительную оценку его физико-химических свойств.

Ключевые слова
кишечник, химус, кальций, рентгеноструктурный анализ, атомно-абсорбционная спектрофотометрия

Для цитирования
Ксенофонтов Д.А., Ксенофонтова А.А. Кальций как фактор структурирования энтеральной среды // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 84-91. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-84-91

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-84-91

Calcium as a factor in structuring the enteral flora

Dmitriy A. Ksenofontov, Angelika A. Ksenofontova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Dmitriy A. Ksenofontov; dksenofontov@rgau-msha.ru

Abstract
Experiments were carried out on animals of different species to study the parameters of calcium metabolism at the level of the small and large intestines. In monogastric and polygastric animals, the fractional composition of chyme was studied by centrifugation and the concentration of calcium in its exogenous and endogenous components was determined by atomic absorption spectrophotometry. An analysis of native chyme from different parts of the rabbit intestine was carried out by X-ray structural analysis using the small-angle diffraction method. It was found that as the chyme and its endogenous fraction move along the intestine, the calcium content increases with a predominant relative proportion of other mineral elements. Diffraction maxima exceeding the width of true crystals and characteristic of amorphous crystalline substances were obtained on X-ray patterns. The general biological phenomenon of calcium deposition in endogenous structures of chyme to form a nano-ordered framework of enteroplasm was inferred. The regularities of enteral calcium metabolism in animals of different species established during the experiments are of scientific importance for the study of the mechanisms of its homeostasis in the body and of practical value in the field of setting mineral nutritional standards, taking

into account the significant calcium accumulation by endogenous components of the small and large intestines. The X-ray structural analysis of chyme complements the theoretical basis of the strip digestion concept and allows for a preliminary assessment of its physicochemical properties..

Keywords
intestine, chyme, calcium, X-ray structural analysis, atomic absorption spectrophotometry

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Ksenofontov D.A., Ksenofontova A.A. Calcium as a factor in structuring the enteral flora. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):84-91. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-84-91

Введение
Introduction

Пищеварение представляет собой комплекс происходящих в желудочно-кишечном тракте процессов. Активно развивающееся направление по разработке рационов и индивидуализации диетического питания в нутрициологии человека и животных должно основываться на глубоком анализе функциональных особенностей гидролиза органических и минеральных нутриентов. Особая роль в пищеварительной функции отводится кальцию, который прямо или опосредованно участвует во всех физиологических процессах, а при его алиментарной недостаточнсти либо патологиях обмена возникают остеомаляция или остеопороз, нарушаются нервная деятельность, сократительная функция мышц, свертывание крови, секреция желез и иммунный ответ [1, 2]. Возникающий при нарушениях метаболизма кальция симптоматический комплекс также может проявляться снижением продуктивности и нарушением воспроизводительной функции сельскохозяйственных животных [3].

Полученные в последнее время экспериментальные сведения указывают на то, что в пищеварительной системе кальций необходим для нормального течения гидролиза и абсорбции нутриентов в желудочно-кишечном тракте. Наличие внеклеточных кальций-чувствительных рецепторов кишечного эпителия у млекопитающих позволяет как эффективно регулировать абсорбцию самого кальция, так и анализировать химический состав химуса и его микробиальный состав. Эти кальциевые рецепторы также регулируют проницаемость, целостность и иммунитет кишечника, способствуют пролиферации и дифференцировке эпителиальных клеток в кишечнике [4].

Установлено изменение концентрации кальция в кишечном содержимом в зависимости от времени и характера потребления пищи, а также его влияние на переваримость и биодоступность липидов [5]. Кальций необходим для работы протонной помпы при синтезе соляной кислоты желудочного сока. При этом он одновременно участвует в синтезе гликопротеинов защитного слоя слизистой оболочки желудка, благодаря чему создается интактная поверхность, нечувствительная к агрессивным факторам и гидролитическим фермента [6, 7].

Таким образом, благодаря кальцию осуществляется модуляция различных процессов в желудочно-кишечном тракте, а пищеварительная система является важным компонентом системы поддержания оптимального уровня кальция во внутренней среде организма [8]. При этом новые концептуальные характеристики структурной организации гастро-энтеральной среды, ее функциональные особенности и участие в поддержании гомеостаза по кальцию позволяют предположить особую роль элемента в организации и поддержании специфической системы энтероплазмы кишечного химуса [9, 10].

Цель исследований: изучение структурой организации химуса и показателей метаболизма кальция на уровне гастро-энтеральной среды у животных разных видов.

Методика исследований
Research method

Исследования проводили в 5 экспериментах на виварии и кафедре физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в лаборатории фармакомоделирования ФГБУН НЦБМТ ФМБА России. Эксперименты проводились в соответствии с биоэтическими правилами. В опытах использовали здоровых животных, содержащихся в условиях, соответствующих зоогигиеническим и зоотехническим требованиям. Рационы животных составлялись в соответствии с детализированными нормами кормления. На протяжении экспериментов за животными осуществлялся ветеринарный контроль. В качестве объектов исследований использовали моно- и полигастричных животных: куры яичного направления 80-120-дневного возраста (24 гол.); мини-пиги светлогорской популяции – возраст 1,5 года (4 гол.); кролики (3 гол.), быки-кастраты – возраст 18-22 месяца (3 гол.).

В конце экспериментов проводили острый опыт в соответствии с методикой. У всех животных извлекали пищеварительный тракт с последующим разделением на отделы и отбором из них проб химуса. Методами центрифугирования и декантирования химус из разных отделов кишечника разделяли

на компоненты: растворимую фракцию (РФ), плотную эндогенную фракцию (ПЭФ) и пищевые частицы (ПЧ) [11]. В полученных образцах химуса и его фракциях методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе «Спектр 5-4» определяли содержание кальция. У кроликов химус из разных отделов пищеварительного тракта исследовали методом малоугловой и широкоугловой рентгеновской дифракции SAXS/WAXS на специализированном источнике синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» в экспериментальной станции ДИКСИ в монохроматическом рентгеновском излучении синхротронного источника, позволяющей оценить структуру биологических объектов в статике.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Сравнительный анализ динамики концентрации кальция в химусе кишечника у животных с разным морфологическим строением пищеварительного тракта и характером питания выявил сходные закономерности, обусловленные процессами гидролиза, абсорбции и экскреции нутриентов. Минимальная концентрация кальция у всех видов животных фиксируется в 12-перстной кишке, где химус изначально разбавляется пищеварительными соками, а ионизированный соляной кислотой желудка кальций легко абсорбируется в кровь (табл. 1). По мере продвижения химуса по отделам тонкого кишечника концентрация кальция в нем у мини-пигов возрастает в 7 раз, у быков и кроликов – в 2,8 раза. Это, несомненно, обусловлено снижением его абсорбции, несмотря на активный гидролиз нутриентов при одновременном поступлении кишечных соков, десквамации эпителия и пристеночной слизи в энтеральную полость. На протяжении толстого отдела кишечника у всех исследуемых животных концентрация кальция в химусе также продолжает увеличиваться, что связано со снижением его абсорбции и, вероятно, имеет общебиологическое значение для формирования оптимальных условий энтеральной среды, для функционирования симбиотической микрофлоры и формирования каловых масс.

Таблица 1

Концентрация кальция в химусе, г/кг сухого вещества

Отдел кишечника	Свиньи (мини-пиги)	Кролики	КРС (быки-кастраты)
12-перстная кишка	2,42 ± 0,11	4,14 ± 1,65	5,30 ± 0,9
Тощая кишка (проксимальный отдел)	10,34 ± 0,47	5,79 ± 2,41	4,50 ± 0,8
Тощая кишка (дистальный отдел)	17,56 ± 2,39	5,93 ± 3,43	11,43 ± 4,6
Подвздошная кишка	15,18 ± 2,51	11,8 ± 4,72	14,97 ± 1,4
Слепая кишка	14,15 ± 1,56	11,8 ± 5,01	16,88 ± 3,5
Ободочная кишка	13,55 ± 4,23	12,0 ± 4,76	16,98 ± 2,2
Прямая кишка	17,13 ± 0,86	-	19,41 ± 4,4

Table 1

Calcium concentration in chyme, g/kg dry matter

Intestinal section	Pigs (mini pigs)	Rabbits	Cattle (castrate bulls)
Duodenum	2.42 ± 0.11	4.14 ± 1.65	5.30 ± 0.9
Jejunum (proximal)	10.34 ± 0.47	5.79 ± 2.41	4.50 ± 0.8
Jejunum (distal)	17.56 ± 2.39	5.93 ± 3.43	11.43 ± 4.6
Ileum	15.18 ± 2.51	11.8 ± 4.72	14.97 ± 1.4
Caecum	14.15 ± 1.56	11.8 ± 5.01	16.88 ± 3.5
Colon	13.55 ± 4.23	12.0 ± 4.76	16.98 ± 2.2
Rectum	17.13 ± 0.86	-	19.41 ± 4.4

Анализ фракционного состава химуса показал его сходный гетерогенный состав на протяжении всего кишечника у животных разных видов, представленный экзогенными структурными компонентами в виде пищевых частиц и плотной эндогенной фракцией, содержащей молекулярно-корпускулярную и симбиотическую часть. В нативном химусе основу молекулярно-корпускулярной части составляет секретируемая оболочкой кишечника внутриполостная слизь, богатая гликопротеидами. Доля плотной эндогенной фракции в сухом веществе химуса у животных с разным спектром питания имеет сходную динамику. В химусе тонкого кишечника она находится на уровне 9-20%, снижаясь в подвздошной кишке до 7% и вновь возрастая в среднем до 15-30% после перехода в толстый отдел. Такая закономерность связана с функциональными особенностями пищеварения в разных отделах кишечника, где плотная эндогенная фракция реализует специфические функции. Стоит подчеркнуть, что благодаря высоким гидротационным свойствам [12] вода, составляющая в химусе 80-85%, связывается гликопротеидами плотной эндогенной фракции, в результате чего образуется энтеральная среда с реакционными зонами для протекания гидролитических процессов в фермент-субстратных взаимодействиях. В итоге до 90% массы нативного химуса фактически представлено гидратированной плотной эндогенной фракцией вкупе с растворимой фракцией, образующих единую структурно-функциональную систему энтеральной среды, или так называемую «энтероплазму кишечного химуса», которая обладает определенными физико-химическими свойствами и является местом полостного гидролиза и транспорта нутриентов.

Анализ концентрации кальция в сухом веществе химуса и его фракциях показал, что элемент преимущественно локализуется в плотной эндогенной и растворимой фракциях с закономерной динамикой изменения от проксимального к дистальному отделам кишечника у животных разных видов (табл. 2). Концентрация кальция в ПЭФ у кур-несушек возрастает в 6,8 раза, у мини-пигов – в 11,5 раза, у кроликов – в 5 раз, у быков-кастратов – в 5,7 раза. Видовые отличия по содержанию кальция связаны с рациональными особенностями кормления и морфо-функциональными особенностями пищеварительного тракта у моно- и полигастричных животных.

Таблица 2

Содержание кальция в плотной эндогенной фракции химуса, г/кг сухого вещества

Отдел кишечника	Птица (куры-несушки)	Свиньи (мини-пиги)	Кролики	КРС (быки-кастраты)
12-перстная кишка	12,8 ± 0,8	4,01 ± 0,76	7,54 ± 1,5	6,34 ± 0,1
Тощая кишка	50,3 ± 6,2	16,01 ± 1,8	29,03 ± 1,25	16,3 ± 2,4
Подвздошная кишка	86,7 ± 7,25	46,12 ± 0,97	37,5 ± 2,02	22,0 ± 1,1
Слепая кишка	-	22,1 ± 6,02	16,1 ± 3,26	28,3 ± 2,6
Ободочная кишка	-	18,41 ± 0,4	33,5 ± 0,8	28,6 ± 5,6
Прямая кишка	85,2 ± 13,0	37,7 ± 1,37	-	36,1 ± 6,2

Table 2

Calcium concentration in the dense endogenous fraction of chyme, g/kg dry matter

Intestinal section	Poultry (laying hens)	Pigs (mini pigs)	Rabbits	Cattle (castrate bulls)
Duodenum	12.8 ± 0.8	4.01 ± 0.76	7.54 ± 1.5	6.34 ± 0.1
Jejunum	50.3 ± 6.2	16.01 ± 1.8	29.03 ± 1.25	16.3 ± 2.4
Ileum	86.7 ± 7.25	46.12 ± 0.97	37.5 ± 2.02	22.0 ± 1.1
Caecum	-	22.1 ± 6.02	16.1 ± 3.26	28.3 ± 2.6
Colon	-	18.41 ± 0.4	33.5 ± 0.8	28.6 ± 5.6
Rectum	85.2 ± 13.0	37.7 ± 1.37	-	36.1 ± 6.2

Однако общая закономерность увеличения элемента в ПЭФ химуса в дистальном направлении имеет определенное биологическое значение. Накопление кальция в химусе с помощью ПЭФ не только сдерживает его абсорбцию, но одновременно создает определенное обменное депо, из которого организм может извлекать элемент в случае необходимости, используя для функционирования самого кишечника либо для поддержания гомеостатического уровня в плазме крови.

Сравнение содержания макро- и микроэлементов в ПЭФ кишечного химуса показало, что наибольшее количество из всех минеральных элементов приходится на долю кальция (табл. 3). При этом наблюдается динамика роста относительного его уровня у кур в 1,9 раза, у КРС в 3,2 раза. У мини-пигов динамика не так существенно выражена, составляя 50-68%.

Преобладание кальция в энтероплазме химуса неслучайно, физиологически значимо и, вероятно, связано с высокой сорбционной емкостью гликопротеидов по отношению к катионам кальция, что влияет на трехмерную структуру его олигосахаридной цепочки и приводит к образованию геля [13, 14]. В энтеральной среде кальций, депонируясь в гидратированной ПЭФ химуса, может образовывать быстрообмениваемый фонд либо, как активный комплексообразователь, может участвовать в структурировании химуса. Путем перераспределения между ПЭФ и РФ химуса запас элемента можно легко мобилизовать из энтероплазмы при его недостатке во внутренней среде. Такая мобилизация кальция возможна и при патологических процессах как внутри организма, связанных с метаболизмом кальция, так и при расстройствах пищеварения, когда структура энтэроплазмы разрушается.

На основании способности кальция образовывать металлорганические комплексы с гликопротеинами полосной кишечной слизи можно предположить его активное участие в формировании молекулярной структуры энтеральной среды. Поскольку структурированные системы обеспечивают большее биохимическое совершенство, то в пространственно организованной энтеральной среде скорость гидролиза нутриентов, очевидно, будет выше, чем в бесструктурной массе химуса. Структура энтероплазмы необходима для ускорения многоэтапных превращений метаболитов и более

Таблица 3

Доля кальция в ПЭФ химуса относительно других минеральных элементов, %

Отдел ЖКТ	Птица (куры-несушки)	Свиньи (мини-пиги)	КРС (быки-кастраты)
12-перстная кишка	28,50	50,3	14,3
Тощая кишка	45,61	65,8	26,1
Подвздошная кишка	52,84	68,1	33,0
Слепая кишка	-	57,0	30,0
Ободочная кишка	51,59	53,0	36,3
Прямая кишка	-	57,3	45,8

Table 3

Calcium proportion in the dense endogenous fraction of chyme relative to other mineral elements, %

Intestinal section	Poultry (laying hens)	Pigs (mini pigs)	Cattle (castrate bulls)
Duodenum	28.50	50.3	14.3
Jejunum	45.61	65.8	26.1
Ileum	52.84	68.1	33.0
Caecum	-	57.0	30.0
Colon	51.59	53.0	36.3
Rectum	-	57.3	45.8

совершенной регуляции переваривания; она увеличивает экономичность системы, обеспечивая переработку наибольшей массы субстратов наименьшим количеством ферментов в полости кишечника. При этом макро- и микроэлементы, имея разные собственные места фиксации в гликопротеидах полостной слизи, обеспечивают пространственную конформацию молекул и участвуют в структурировании матрикса энтероплазмы.

Рентгеноструктурный анализ, проведенный с помощью метода малоугловой рентгеновской дифракции, позволил получить рентгенограммы статичных образцов химуса из разных отделов пищеварительного тракта кроликов (рис.). Данный метод используется для объективной оценки и установления структуры кристаллических веществ. Во всех образцах химуса отмечается яркий максимум в виде широкого диффузного кольца, по форме напоминающий оптический феномен – гало, что свидетельствует о наличии в химусе кристаллов очень малого размера, случайно ориентированных в энтеральной среде. Наиболее широкое и плотное кольцо наблюдается в образцах химуса из 12-перстной и тощей кишок, что свидетельствует о наибольшей молекулярной упорядоченности.

Полученные диффузные кольца цельного химуса внешне схожи с рентгенограммами аморфных веществ, при этом их диаметр служит лишь для грубой оценки средних межатомных расстояний в нем. Чем плотнее и шире диффузный характер рассеянного химусом рентгеновского излучения в образцах химуса тонкого кишечника, тем выше степень упорядоченности его атомного строения. Как правило, в аморфных веществах межатомные расстояния правильно повторяются внутри молекул, следовательно, в цельном химусе присутствуют молекулы с определенным числом часто встречающихся межатомных расстояний, что и является причиной появления на рентгенограмме аморфного гало, ширина которого значительно превышает ширину обычных кристаллических рефлексов.

Аморфность химуса придает ему важные физико-химические свойства. Прежде всего это изотропичность, то есть независимость механических, оптических, электрических и других свойств от направления вещества. Кроме того, аморфное состояние вещества, обладая некоторым избыточным запасом внутренней энергии, всегда менее устойчиво и стабильно по сравнению с кристаллическим, что является наиболее эффективным для энтеральной среды в отличие от жидкого состояния, которое характеризуется достаточно сильным межмолекулярным взаимодействием. Структура химуса, находясь в аморфном состоянии, будет стремиться к упорядочению и к образованию пространственно ориентированного матрикса из молекул гликопротеинов, образующих хелатные комплексы с минеральными элементами, и прежде всего – с кальцием. Таким образом, химус по своей структуре более близок к веществам с кристаллической основой, для которых характерна постоянная термодинамическая и кинетическая стабильность, существенно повышающая время жизни при агрессивном воздействии нутриентов, гидролитических ферментов и симбиотической микрофлоры.

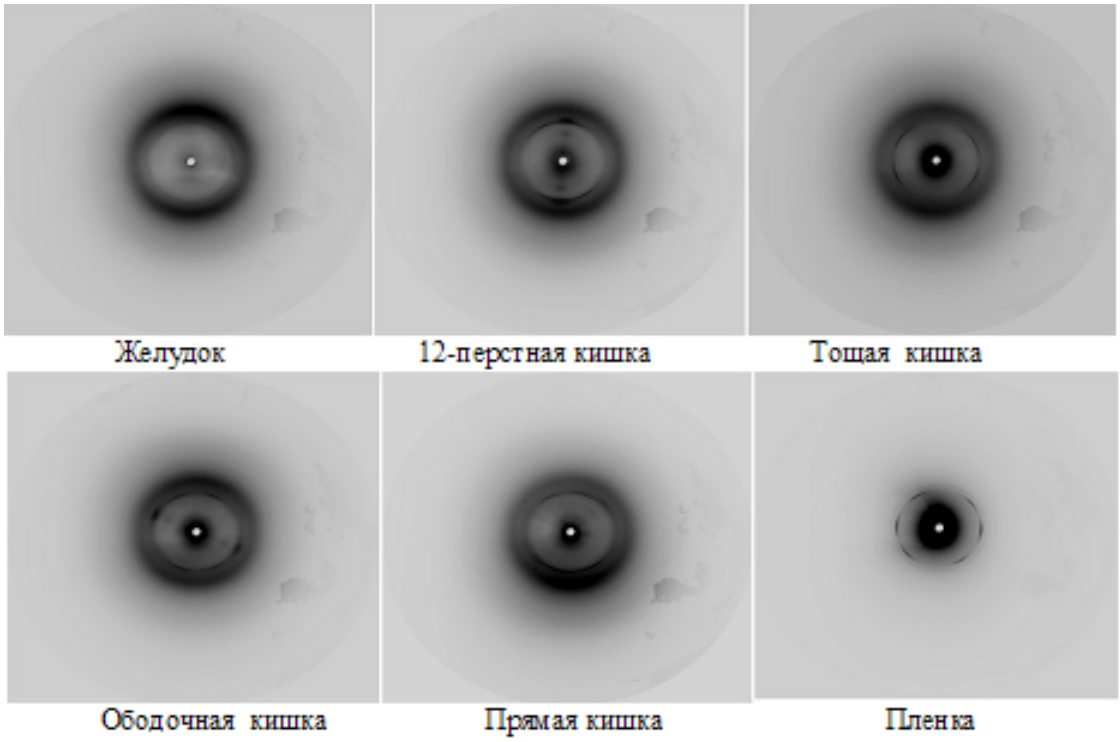


Рис. Рентгенограммы химуса кролика на пленке, расстояние от детектора 45 мм (фотографический метод)

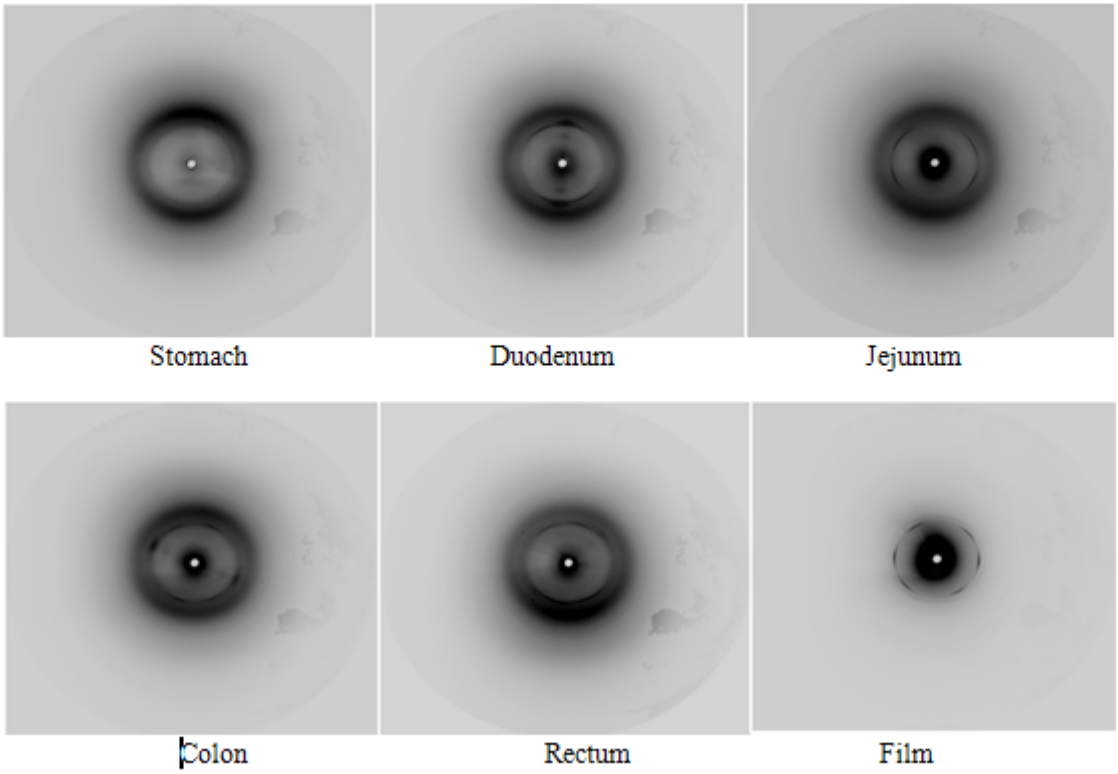


Fig. X-ray images of rabbit chyme on film, distance from the detector – 45 mm (photographic method)

Выводы
Conclusions

1. У поли- и моногастричных животных кальций, как активный комплексообразователь, концентрируется преимущественно в плотной эндогенной фракции химуса с закономерной динамикой увеличения в дистальном направлении кишечника.

2. Кальций является преобладающим элементом зольной части плотной эндогенной фракции химуса, в которой его доля составляет у мини-пигов, кур и крупного рогатого скота 50-68, 28-52, 26-45% соответственно, что обеспечивает его участие в формировании протеогликановой системы полостной слизи с образованием хелатных комплексов, полидентантные лиганды которых формируют наноупорядоченный каркас энтероплазмы и в целом структурируют химус.

3. Дифракционные максимумы в виде широкого диффузного кольца свидетельствуют о пространственной структурированности химуса в виде аморфного кристаллического вещества, устойчивого к физико-химическим воздействиям, функциональную основу которого составляет плотная эндогенная фракция, кумулирующая значительный объем кальция.

Список источников

1. Wawrzyniak N., Suliburska J. Nutritional and health factors affecting the bioavailability of calcium: a narrative review. *Nutrition Reviews*. 2021;79(12):1307-1320. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa138

2. Diaz de Barboza G., Guizzardi S., Tolosa de Talamoni N. Molecular aspects of intestinal calcium absorption. *World Journal Gastroenterol*. 2015;21(23):7142-54. http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v21.i23.7142

3. Ахполова В.О., Брин В.Б. Обмен кальция и его гормональная регуляция // *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2017. № 2. С. 38-46. EDN: ZHRGCH.

4. Liu G., Cao W., Jia G., Zhao H., Chen X., Wang J. Calcium-sensing receptor in nutrient sensing: an insight into the modulation of intestinal homoeostasis. *British Journal of Nutrition*. 2018;120(8):881-890. https://doi.org/10.1017/S0007114518002088

5. Tan Y., Li R., Zhou H., Liu J. et al. Impact of calcium levels on lipid digestion and nutraceutical bioaccessibility

References

1. Wawrzyniak N., Suliburska J. Nutritional and health factors affecting the bioavailability of calcium: a narrative review. *Nutrition Reviews*. 2021;79(12):1307-1320. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa138

2. Diaz de Barboza G., Guizzardi S., Tolosa de Talamoni N. Molecular aspects of intestinal calcium absorption. *World Journal Gastroenterol*. 2015;21(23):7142-54. http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v21.i23.7142

3. Akhpolova V.O., Brin V.B. Calcium exchange and its hormonal regulation. *Zhurnal fundamentalnoy meditsiny i biologii.* 2017;2:38-46. (In Russ.)

4. Liu G., Cao W., Jia G., Zhao H., Chen X., Wang J. Calcium-sensing receptor in nutrient sensing: an insight into the modulation of intestinal homoeostasis. *British Journal of Nutrition*. 2018;120(8):881-890. https://doi.org/10.1017/S0007114518002088

5. Tan Y., Li R., Zhou H., Liu J. et al. Impact of calcium levels on lipid digestion and nutraceutical bioaccessibility

in nanoemulsion delivery systems studied using standardized INFOGEST digestion protocol. *Food Function*. 2020;11(1):174-186. https://doi.org/10.1039/C9FO01669D

6. Kopic S., Geibel J.P. Gastric acid, calcium absorption, and their impact on bone health. *Physiological Reviews*. 2013;93(1):189-268. https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2012

7. Gustafsson J.K., Johansson M.E.V. The role of goblet cells and mucus in intestinal homeostasis. *Nature Reviews Gastroenterol Hepatol*. 2022;19:785-803. https://doi.org/10.1038/s41575-022-00675-x

8. Matikainen N., Pekkarinen T., Ryhänen E.M., Schalin-Jäntti C. Physiology of calcium homeostasis: an overview. *Endocrinology and Metabolism Clinics*. 2021;50(4):575-590. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2021.07.005

9. Ксенофонтов Д.А., Ксенофонтова А.А. Общебиологические закономерности в структурно-функциональной организации полостного пищеварения // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022. № 7 (121). С. 115-118. https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.060

10. Ksenofontov D.A., Ksenofontova A.A. Method for Studying Calcium Homeostasis at the Level of Gastroenteral Environment in Minipigs. *Journal Biomed.* 2023;19(3):23-28. https://doi.org/10.33647/2074-5982-19-3-23-28

11. Woods R.J. Predicting the Structures of Glycans, Glycoproteins, and Their Complexes. *Chemical Reviews*. 2018;118(17):8005-8024. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00032

12. Demouveaux B., Gouyer V., Magnien M., Plet S. et al. La structure des mucines conditionne les propriétés viscoélastiques des gels de mucus. *Med Sci* (*Paris*). 2018;34(10):806-812. https://doi.org/10.1051/medsci/2018206

13. Полякова Е.П., Ксенофонтов Д.А., Иванов А.А. Метод изучения полостного пищеварения // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2016. № 12 (136). С. 110-114. EDN: VWPGYE

14. Bagger H.L., Fuglsang C.C., Westh P. Hydration of a glycoprotein: relative water affinity of peptide and glycan moieties. *European Biophysics Journal*. 2006;35, 367-371. https://doi.org/10.1007/s00249-005-0035-5

in nanoemulsion delivery systems studied using standardized INFOGEST digestion protocol. *Food Function*. 2020;11(1):174-186. https://doi.org/10.1039/C9FO01669D

6. Kopic S., Geibel J.P. Gastric acid, calcium absorption, and their impact on bone health. *Physiological Reviews*. 2013;93(1):189-268. https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2012

7. Gustafsson J.K., Johansson M.E.V. The role of goblet cells and mucus in intestinal homeostasis. *Nature Reviews Gastroenterol Hepatol*. 2022;19:785-803. https://doi.org/10.1038/s41575-022-00675-x

8. Matikainen N., Pekkarinen T., Ryhänen E.M., Schalin-Jäntti C. Physiology of calcium homeostasis: an overview. *Endocrinology and Metabolism Clinics*. 2021;50(4):575-590. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2021.07.005

9. Ksenofontov D.A., Ksenofontova A.A. Common biological patterns in the structural and functional organization of abdominal digestion. *International Research Journal.* 2022;7 (121):115-118. (In Russ.) https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.060

10. Ksenofontov D.A., Ksenofontova A.A. Method for Studying Calcium Homeostasis at the Level of Gastroenteral Environment in Minipigs. *Journal Biomed.* 2023;19(3):23-28. https://doi.org/10.33647/2074-5982-19-3-23-28

11. Woods R.J. Predicting the Structures of Glycans, Glycoproteins, and Their Complexes. *Chemical Reviews*. 2018;118(17):8005-8024. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00032

12. Demouveaux B., Gouyer V., Magnien M., Plet S. et al. La structure des mucines conditionne les propriétés viscoélastiques des gels de mucus. *Med Sci* (*Paris*). 2018;34(10):806-812. https://doi.org/10.1051/medsci/2018206

13. Polyakova E.P., Ksenofontov D.A., Ivanov A.A. Method for cavitary digestion study. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2016;(12):110-114. (In Russ.)

14. Bagger H.L., Fuglsang C.C., Westh P. Hydration of a glycoprotein: relative water affinity of peptide and glycan moieties. *European Biophysics Journal.* 2006;35:367-371. https://doi.org/10.1007/s00249-005-0035-5

Сведения об авторах

Дмитрий Анатольевич Ксенофонтов, заведующий кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных, д-р биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: smu@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-2408-0776

Анжелика Александровна Ксенофонтова, доцент кафедры кормления животных, канд. биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tmetre@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-1920-2326

Information about the authors

Dmitry A. Ksenofontov, DSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Animal Physiology, Ethology and Biochemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: smu@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-2408-0776

Angelika A. Ksenofontova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: tmetre@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-1920-2326

Статья поступила в редакцию 26.08.2024
Одобрена после рецензирования 15.09.2024
Принята к публикации 21.09.2024

The article was submitted to the editorial office August 26, 2024
Approved after reviewing September 15, 2024
Accepted for publication September 21, 2024

ЗООЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 597.84:591.613
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-92-97

Возрастные изменения плодовитости самок батурской жабы, *Bufotes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein and Grosse, 1999), в лабораторных условиях

Ксения Андреевна Матушкина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ксения Андреевна Матушкина; matushkinaka@gmail.com

Аннотация
Работа посвящена изучению возрастных изменений репродуктивных показателей самок батурской жабы (*Bufotes baturae*), в лабораторных условиях. Материалом для исследований послужили кладки, полученные от жаб в возрасте от 2 до 7 лет. Наибольшую плодовитость мы наблюдали у 5-летних самок – 1830±298,6 яиц. Пиком репродуктивной активности является возраст от 3 до 6 лет, после чего плодовитость статистически значимо снижается. Другие репродуктивные показатели (диаметр яиц и ширина икряного шнура) возрастным изменениям не подвержены. Полученные результаты будут полезны при планировании лабораторных и природоохранных проектов по разведению батурской жабы. Опираясь на результаты исследований, рекомендуем формировать репродуктивное ядро из животных 3-6-летнего возраста.

Ключевые слова
бесхвостые амфибии, плодовитость, лабораторное разведение, возрастные изменения, плодовитость самок батурской жабы, Bufotes baturae

Для цитирования
Матушкина К.А. Возрастные изменения плодовитости самок батурской жабы, *Bufotes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein and Grosse, 1999), в лабораторных условиях // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 3. С. 92-97. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-92-97

ZOOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-92-97

Age-related changes in fertility of female Batura toads, *Bufotes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein and Grosse, 1999), under laboratory conditions

Ksenia A. Matushkina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Ksenia A. Matushkina; matushkinaka@gmail.com

Abstract
The work is devoted to the study of age-related changes in reproductive parameters of female Batura toads, *Bufotes baturae*, under laboratory conditions. The material for the study were clutches obtained from toads aged 2 to 7 years. The highest fertility (1830±298.6 eggs) was observed in 5-year-old females. The peak of reproductive activity is between 3 and 6 years of age, after which fertility decreases statistically significantly. Other reproductive parameters (egg diameter and spawn cord width) did not show any age-related changes. The results obtained will be useful in planning laboratory and conservation projects for breeding Batura toads. Based on the results of the studies, we recommend to form a reproductive nucleus from animals aged 3-6 years.

Keywords
Anura amphibians, fertility, laboratory breeding, age-related changes, fertility of female Batura toads, *Bufotes baturae*

Conflict of interest
The authors declare no conflicts of interest.

For citation
Matushkina K.A. Age-related changes in fertility of female Batura toads, *Bufotes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein and Grosse, 1999), under laboratory conditions. *Timiryazev Biological Journal.* 2024;2(3):92-97. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-92-97

Введение
Introduction

Батурская жаба, *Bufotes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein et Grosse 1999), – триплоидный вид, распространенный в северном Пакистане, Афганистане [1, 2] и Восточном Памире (Таджикистан) [3]. Населяет высокогорные территории с редкой растительностью, низкими температурами и влажностью, на высоте до 3859 м над уровнем моря [4]. Возник вид в результате гибридизации двух диплоидных центральноазиатских представителей рода: жабы Латаста *Bufotes latastii* (Boulenger 1882) и жабы Перрена *Bufotes perrini* [5, 6].

Полиплоидия и адаптация к экстремальным высокогорным условиям способствуют устойчивости к влиянию инбредной депрессии и неприхотливости, что делает *B. baturae* привлекательным объектом зоокультуры. Полноцикличное содержание земноводных приобретает все большую популярность. На сегодня накоплен немалый опыт содержания и разведения вида в лабораторных условиях [8] (рис. 1). Однако для повышения рентабельности содержания животных и получения ожидаемого по численности потомства необходимо формировать маточные группы, опираясь на знание репродуктивной биологии вида.

Цель исследований: оценка возрастных изменений плодовитости самок *B. baturae* в лабораторных условиях.

Методика исследований
Research method

Исследования проводили в период с 2016 по 2022 гг. на базе кафедры зоологии в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Материалом для исследований послужили батурские жабы, отловленные в Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан, в окрестности озера Булункуль в 2013 г., и их потомства лабораторного разведения. Содержание и разведение в лаборатории осуществляли по отработанной ранее для зеленых жаб методике [9].

Количество яиц в кладках определяли полным поштучным пересчетом, измерения осуществляли при помощи цифрового штангенциркуля с погрешностью 0,1 мм.

В ходе работы анализировали количество яиц в кладках, ширину икряного шнура и диаметр яиц (вителиуса).

Статистическую обработку производили с помощью пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA. Рассчитывали среднюю арифметическую и ошибку средней (M±m), среднеквадратичное отклонение (σ), а также размах признака (min-max). Поскольку гипотеза о нормальности распределения выборок была отклонена (Kolmogorov-Smirnov test, $p \leq 0,05$; Shapiro-Wilk's W test, $p \leq 0,05$), статистическую значимость оценивали при помощи критерия Краскела-Уоллиса ($p \leq 0,05$) для нескольких и U-критерия Манна-Уитни ($p \leq 0,05$) – для двух независимых выборок.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

За весь период исследований удалось получить 59 кладок. Средняя плодовитость самок составила 1457±82,58 (414-3058, σ = 628,89). Максимальные показатели демонстрировали самки двух—, трех, четырех- и пятилетнего возраста (табл.), после чего наблюдалось резкое снижение показателей (рис. 2).

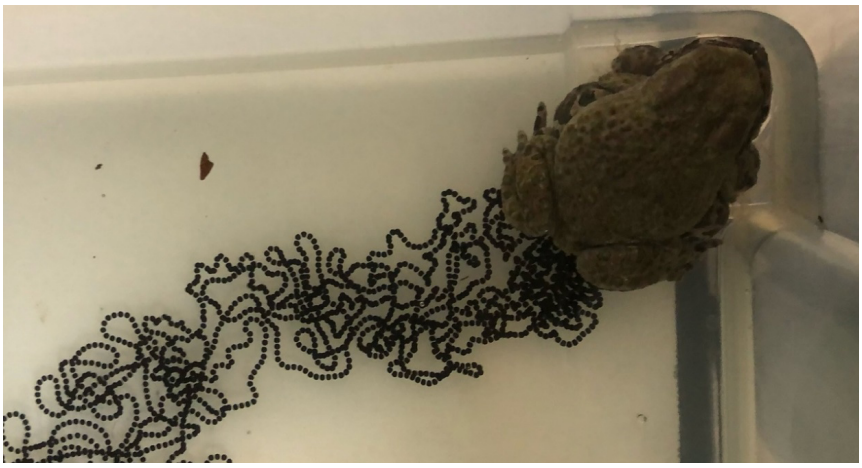


Рис. 1. Икрометание *B. baturae*
Fig. 1. Spawning of *B. baturae*

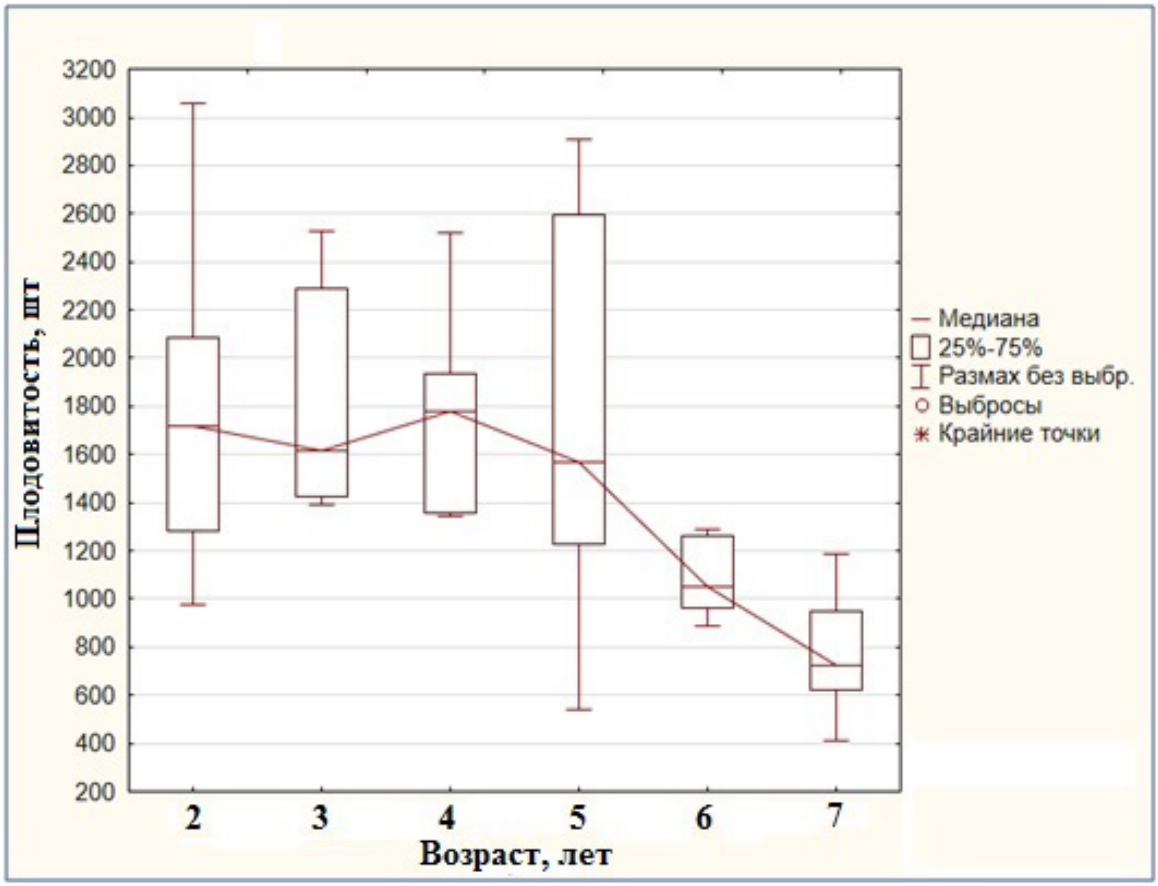


Рис. 2. Диаграмма размаха плодовитости для разных возрастных групп *B. baturae*

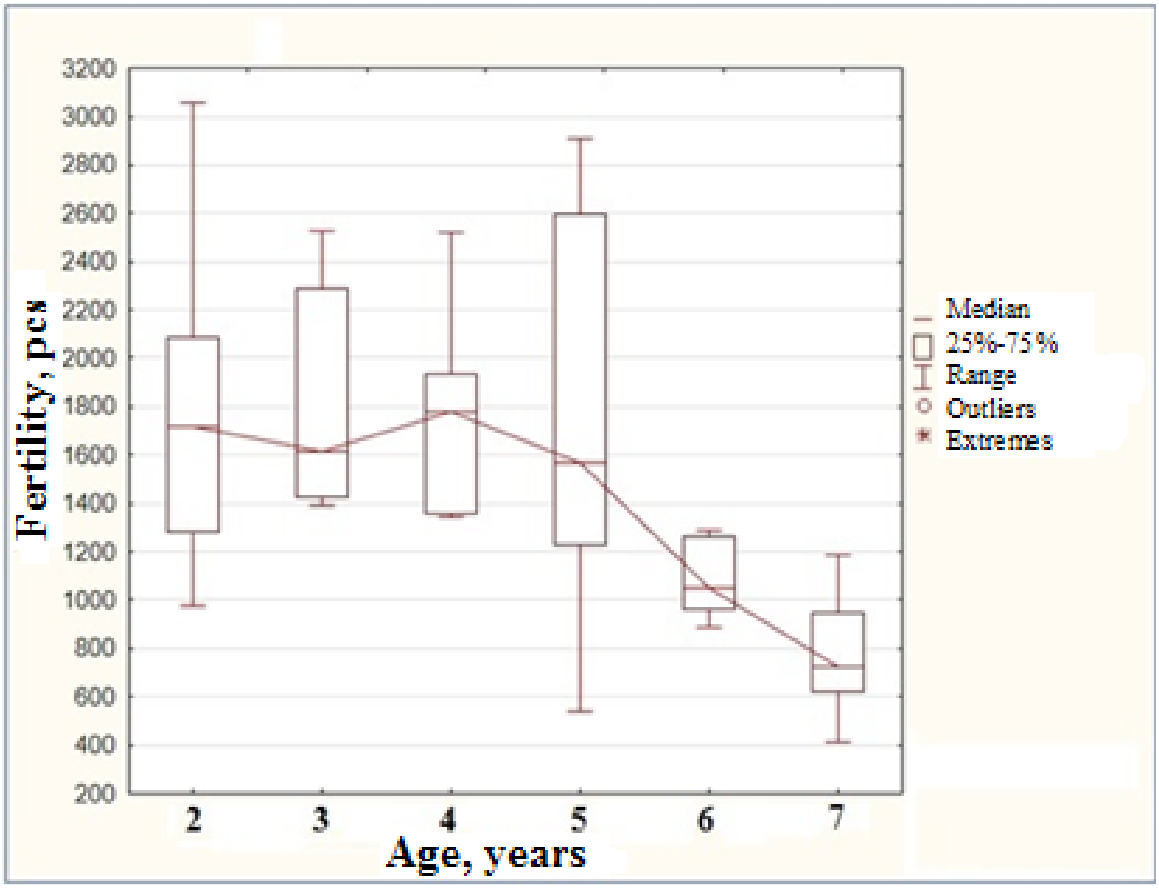


Fig. 2. Fertility range diagram for different age groups of *B. baturae*

Таблица

Репродуктивные показатели самок батурских жаб разных возрастных групп

Возраст	M±m(σ) min-max(n)		
	плодовитость	**диаметр яиц**	**ширина шнура**
2+	1801±274,9(673,3) 976-3058(7)	1,9±0,03(0,28) 1,5-2,9(102)	3,8±0,11(0,58) 2,8-5,1(31)
3+	1811±213,5(477,4) 1394-2525(6)	1,8±0 (0,2) 1,3-2,4(78)	3,4±0,15(0,44) 2,9-4,0(10)
4+	1789±163,0(399,3) 1343-2523(7)	1,9±0,03(0,30) 1,4-2,7(84)	3,7±0,21(0,65) 2,7-5,0(11)
5+	1830±298,6(844,5) 539-2906(9)	1,7±0,01(0,20) 1,1-2,3(160)	3,2±0,07(0,51) 1,9-4,1(45)
6+	1092±62,2(164,5) 886-1292(8)	1,9±0(0,2) 1,4-2,3(159)	3,9±0,07(0,43) 3,0-4,9(40)
7+	778±85,6(242,1) 414-1187(9)	1,7±0,02(0,24) 1,0-2,2(120)	3,6±0,08(0,55) 2,4-4,8(48)

Table

Reproductive characteristics of female Batura toads of different age groups

Age	M±m(σ) min–max(n)		
	fertility	**egg diameter**	**cord width**
2+	1801±274.9(673.3) 976-3058(7)	1.9±0.03(0.28) 1.5-2.9(102)	3.8±0.11(0.58) 2.8-5.1(31)
3+	1811±213.5(477.4) 1394-2525(6)	1.8±0 (0.2) 1.3-2.4(78)	3.4±0.15(0.44) 2.9-4.0(10)
4+	1789±163.0(399.3) 1343-2523(7)	1.9±0.03(0.30) 1.4-2.7(84)	3.7±0.21(0.65) 2.7-5.0(11)
5+	1830±298.6(844.5) 539-2906(9)	1.7±0.01(0.20) 1.1-2.3(160)	3.2±0.07(0.51) 1.9-4.1(45)
6+	1092±62.2(164.5) 886-1292(8)	1.9±0(0.2) 1.4-2.3(159)	3.9±0.07(0.43) 3.0-4.9(40)
7+	778±85.6(242.1) 414-1187(9)	1.7±0.02(0.24) 1.0-2.2(120)	3.6±0.08(0.55) 2.4-4.8(48)

Групповая оценка статистической значимости Краскела-Уоллиса показала значимые различия плодовитости самок разных возрастных групп. Однако при попарном сравнении возрастных групп было выявлено, что различия имеются только в парах с шести- и семилетними самцами. В целом показатели плодовитости *B. baturae* несколько ниже показателей других представителей комплекса [4]. Полученные же значения лежат в пределах, известных для вида [7, 8].

Диаметр яиц колебался от 1 до 2,9 мм, в среднем 1,8±0,01 мм (σ = 0,01), ширина шнура варьировала от 1,7 до 6 мм, в среднем 3,7±0,04 (σ = 0,04). По этим показателям групповая оценка Краскела-Уоллиса показала значимые различия. Однако при попарном сравнении оказались достоверными различия лишь в некоторых парах. Для диаметров яиц это следующие комбинации возрастов: 3-4, 3-6, 4-6, 4-7, 5-6, 6-7; для ширины шнуров: 3-6, 3-7, 4-7, 5-6, 6-7. При этом мы не наблюдали последовательной динамики этих показателей – вероятно, наблюдаемые различия не зависят от возраста.

Выводы
Conclusions

Репродуктивные показатели батурских жаб подвержены возрастным изменениям. Самые высокие значения мы фиксировали для самок 3-6-летнего возраста, после чего наблюдали значимое снижение плодовитости. Полученные значения лежали в пределах известных для вида [7, 8]. В целом плодовитость самок батурской жабы несколько ниже плодовитости других представителей рода. Можно бы было предположить, что в природе низкая плодовитость компенсируется значительной продолжительностью репродуктивной активности, так как в лабораторных условиях *B. Baturae* успешно размножаются, даже самки 10-летнего возраста. Однако исследования возрастной структуры природных популяций это предположение не подтверждают [10].

Диаметр яиц и ширина икряного шнура, несмотря на наличие статистически значимых различий при групповом анализе, вероятно, не зависят от возраста самки, а обусловлены скорее условиями содержания и особенностями кормления в нагульный период.

Список источников

1. Stöck M., Schmid M., Steinlein C., Grosse W.-R. Mosaicism in somatic triploid specimens of the *Bufo viridis* complex in the Karakoram with examination of calls, morphology and taxonomic conclusions. *Italian Journal of Zoology*. 1999;66:215-232. https://doi.org/10.1080/11250009909356259

2. Stöck M., Frynta D., Grosse W.-R., Steinlein C., Schmid M. A review of the distribution of diploid, triploid and tetraploid Green toads (*Bufo viridis* complex) in Asia including new data from Pakistan. *Asiatic herpetological research.* 2001;9:77-100. https://doi.org/10.5962/bhl.part.15562

3. Litvinchuk S.N., Mazepa G.O., Pasynkova R.A., Saidov A. et al. Influence of environmental conditions on the distribution of Central Asian green toads with three ploidy levels. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research.* 2011;49(3):233-239. https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2010.00612.x

4. Кузьмин С.Л. *Земноводные бывшего СССР. 2-е изд., перераб*. Москва: ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2012. 370 с. EDN: YNDCGL

5. Литвинчук С.Н., Скоринов Д.В., Пасынкова Р.А., Кидов А.А. и др. Полиплоидное видообразование у азиатских зеленых жаб рода *Bufotes* (Bufonidae) // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2019. Т. 1, № 25. С. 80-93. https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-9

6. Dufresnes C., Mazepa G., Jablonski D., Oliveira R.C. et al. Fifteen shades of green: The evolution of Bufotes toads revisited. *Molecular*

References

1. Stöck M., Schmid M., Steinlein C., Grosse W.-R. Mosaicism in somatic triploid specimens of the *Bufo viridis* complex in the Karakoram with examination of calls, morphology and taxonomic conclusions. *Italian Journal of Zoology*. 1999;66:215-232. https://doi.org/10.1080/11250009909356259

2. Stöck M., Frynta D., Grosse W.-R., Steinlein C., Schmid M. A review of the distribution of diploid, triploid and tetraploid Green toads (*Bufo viridis* complex) in Asia including new data from Pakistan. *Asiatic herpetological research.* 2001;9:77-100. https://doi.org/10.5962/bhl.part.15562

3. Litvinchuk S.N., Mazepa G.O., Pasynkova R.A., Saidov A. et al. Influence of environmental conditions on the distribution of Central Asian green toads with three ploidy levels. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research.* 2011;49(3):233-239. https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2010.00612.x

4. Kuzmin S.L. *Amphibians of the former USSR.* 2nd ed., rev. Moscow, Russia: OOO KMK, 2012:370. (In Russ.)

5. Litvinchuk S.N., Skorinov D.V., Pasynkova R.A., Kidov A.A. et al. Polyploid speciation in Asian green toads of the genus *Bufotes* (Bufonidae). *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences.* 2019;1(25):80-93. (In Russ.) https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-9

6. Dufresnes C., Mazepa G., Jablonski D., Oliveira R.C. et al. Fifteen shades of green: The evolution of Bufotes toads revisited. *Molecular*

Phylogenetics and Evolution. 2019;141:106615. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615

7. Кидов А.А., Иволга Р.А., Кондратова Т.Э., Кидова Е.А. Особенности размножения и раннего развития у самого высокогорного земноводного территории бывшего СССР – батурской жабы (*Bufotes baturae*, Amphibia, Bufonidae) (по результатам лабораторных исследований) // *Зоологический журнал*. 2022. № 100 (2). С. 153-164. https://doi.org/10.31857/S0044513421120060

8. Матушкина К.А., Кидов А.А., Литвинчук С.Н. Первые результаты лабораторного размножения батурской жабы, *Bufotes baturae* Stoeck, Schmid, Steinlein et Grosse, 1999 // *Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки»*. 2017. № 22 (5). С. 955-959. https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-5-955-959

9. Matushkina K.A., Kidov A.A., Litvinchuk S.N. Keeping, Breeding, and Maintenance of Zooculture of the Ladakh Toad, *Bufotes latastii* (Boulenger, 1882) *Russian Journal of Herpetology*. 2020;27(5):284-290. https://doi.org/10.30906/1026-2296-2020-27-5-284-290

10. Kidov A.A., Lyapkov S.M., Stepankova I.V., Afrin K.A. et al. Age Structure and Growth Rate of the Triploid Batura Toad, *Bufotes baturae* (Anura: Bufonidae), Inhabitant of a High Altitude Hot Spring in the Eastern Pamirs (Tajikistan). *Russian Journal of Herpetology*. 2023;30(2):79-87. https://doi.org/10.30906/1026-2296-2023-30-2-79-87

Phylogenetics and Evolution. 2019;141:106615. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615

7. Kidov A.A., Ivolga R.A., Kondratova T.E., Kidova E.A. Features of reproduction and early development in the Batura toad (*Bufotes baturae*, Amphibia, Bufonidae), the most high-montane amphibian in the former USSR, based on the results of a laboratory study. *Zoologicheskiy Zhurnal*. 2022;100 (2):153-164. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0044513421120060

8. Matushkina K.A., Kidov A.A., Litvinchuk S.N. The first results of captive breeding of the Batura toad, *Bufotes baturae* Stoeck, Schmid, Steinlein et Grosse, 1999. *Tambov University Reports. Series*: *Natural and Technical Sciences.* 2017:955-958. (In Russ.) https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-5-955-959

9. Matushkina K.A., Kidov A.A., Litvinchuk S.N. Keeping, Breeding, and Maintenance of Zooculture of the Ladakh Toad, *Bufotes latastii* (Boulenger, 1882) *Russian Journal of Herpetology*. 2020;27(5):284-290. https://doi.org/10.30906/1026-2296-2020-27-5-284-290

10. Kidov A.A., Lyapkov S.M., Stepankova I.V., Afrin K.A. et al. Age Structure and Growth Rate of the Triploid Batura Toad, *Bufotes baturae* (Anura: Bufonidae), Inhabitant of a High Altitude Hot Spring in the Eastern Pamirs (Tajikistan). *Russian Journal of Herpetology*. 2023;30(2):79-87. https://doi.org/10.30906/1026-2296-2023-30-2-79-87

Сведения об авторе

Ксения Андреевна Матушкина, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: matushkinaka@gmail.com;https://orcid.org/0000-0003-4853-9999

Статья поступила в редакцию 09.08.2024
Одобрена после рецензирования 30.08.2024
Принята к публикации 31.08.2024

Information about authors

Ksenia A. Matushkina, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: matushkinaka@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-4853-9999

The article was submitted to the editorial office
August 09, 2024
Approved after reviewing August 30, 2024
Accepted for publication August 31, 2024

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

e-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2

Адрес редакции:
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58, каб. 221
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Принято в печать 15.01.2025 г. Формат 60×84/8 12,25 печ. л.
Гарнитура шрифта «Times New Roman»
