

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Выпуск
3/2023

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР: **Савинов И.А.**, д.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия)
Трухачев В.И., д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Валентини Р., доктор наук, PhD, профессор (1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;
2 – Университет Туссии, Витербо, Италия);
Абдуллаева А.М., д.б.н., доцент (РОСБИОТЕХ, Москва, Россия);
Белопухов С.Л., д.с.-х.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Блохин Г.И., д.с.-х.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Бондорина И.А., д.б.н., в.н.с. (ГБС РАН им. Н.В. Цицина, Москва, Россия);
Васенев И.И., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Васильева О.Ю., д.б.н., доцент (ЦБС СО РАН, Новосибирск, Россия);
Вертипрахов В.Г., д.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Денисова Т.В., д.б.н., доцент (ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия);
Джалилов Ф.С., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Дивашук М.Г., к.б.н., (1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия; 2 – ВНИИСБ, Москва, Россия);
Дубенок Н.Н., д.с.-х.н., академик РАН, профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Думачева Е.В., д.б.н., доцент (ФНИЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Лобня, Россия);
Загарин А.Ю., (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Калашникова Е.А., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Калугина С.В., к.б.н., доцент (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия);
Каменский П.А., д.б.н., профессор (МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);
Карлов Г.И., д.б.н., академик РАН, профессор (ВНИИСБ, Москва, Россия);
Квочко А.Н., д.б.н., профессор (ФГБОУ ВО СтГАУ, Ставрополь, Россия);
Кидов А.А., к.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Ким А.И., д.б.н., профессор (МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);
Козлов А.В., д.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Кособрюхов А.А., д.б.н., в.н.с. (ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пуцино, Россия);
Костомахин Н.М., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Котова И.Б., д.б.н., профессор (МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);
Ксенофонтов Д.А., д.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Латынина Е.С., к.в.н. (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Мазиров М.А., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Маловичко Л.В., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Малородов В.В., к.с.-х.н. (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Маннапов А.Г., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Маннапова Р.Т., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Новиков Н.Н., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Остренко К.С., д.б.н., в.н.с. (ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, Подольск, Россия);
Поливанова О.Б., к.б.н., (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Пыльнев В.В., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Рожнов В.В., д.б.н., академик РАН, г.н.с. (ИПЭЭ РАН имени А.Н. Северцова);
Русанов А.М., д.б.н., профессор (ОГУ, Оренбург, Россия);
Селионова М.И., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Селицкая О.В., к.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Соловьев А.А., д.б.н., профессор (ФГБУ «ВНИИКР», Быково, Россия);
Соломонова Е.В., к.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Тараканов И.Г., д.б.н., профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Ткачев А.В., д.с.-х.н., с.н.с. (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Халилуев М.Р., к.б.н., доцент (ВНИИСБ, Москва, Россия);
Чердниченко М.Ю., к.б.н., доцент (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);
Щербаков А.В., д.б.н., в.н.с. (МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);
Юлдашбаев Ю.А., д.с.-х.н., академик РАН, профессор (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия).

РЕДАКЦИЯ

Научный редактор – **М.А. Польшина**

Редактор – **В.И. Марковская**

Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**

Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

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/>

TIMIRYAZEV
BIOLOGICAL JOURNAL
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Issue
3/2023

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

EDITORIAL BOARD:

EDITOR-IN-CHIEF: Assoc. Prof. **Ivan A. Savinov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia)

Prof. **Vladimir I. Trukhachev**, DSc (Ag), DSc (Econ), Member of RAS, (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy), (1 – RSAU-MTAA, Moscow, Russia; 2 – University of Tuscia, Viterbo, Italy);

Assoc. Prof. **Asiyat M. Abdullaeva**, DSc (Bio), (ROSBIOTECH, Moscow, Russia);

Prof. **Sergei L. Belopukhov**, DSc (Ag), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Gennadiy I. Blokhin**, DSc (Ag), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

LRA **Irina A. Bondorina**, DSc (Bio), (The Main Botanical Garden, Moscow, Russia);

Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Olga Yu. Vasilyeva**, DSc (Bio), (Research Library of TSU, Novosibirsk, Russia);

Assoc. Prof. **Vladimir G. Vertiprakhov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Tatyana V. Denisova**, DSc (Bio), (SFedU, Rostov-on-Don, Russia);

Prof. **Fevzi S. Dzhalilov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Mikhail G. Divashuk, CSc (Bio), (1 – RSAU-MTAA, Moscow, Russia;
2 – All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia);

Prof. **Nikolay N. Dubenok**, DSc (Ag), Member of RAS, (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Elena V. Dumacheva**, DSc (Bio), (Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Lobnya, Russia);

Artem Yu. Zagarin, (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Elena A. Kalashnikova**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Svetlana V. Kalugina**, CSc (Bio), (NRU, BelSU, Belgorod, Russia);

LRA **Piotr A. Kamenski**, DSc (Bio), (MSU, Moscow, Russia);

Prof. **Gennady I. Karlov**, DSc (Bio), Member of RAS, (All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia);

Prof. **Andrey N. Kvochko**, DSc (Bio), (StGAU, Stavropol, Russia);

Assoc. Prof. **Artem A. Kidov**, CSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Alexander I. Kim**, DSc (Bio), (MSU, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Andrey V. Kozlov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

LRA **Anatoliy A. Kosobryukhov**, DSc (Bio), (Pushchinsky Scientific Center for Biological Research, Pushchino, Russia);

Prof. **Nikolay M. Kostomakhin**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Irina B. Kotova**, DSc (Bio), (MSU, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Dmitriy A. Ksenofontov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Evgeniya S. Latynina, CSc (Vet), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Mikhail A. Mazirov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Lyubov V. Malovichko**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Viktor V. Malorodov, CSc (Ag), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Ramziya T. Mannapova**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Nicolai N. Novikov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

LRA **Konstantin S. Ostrenko**, (L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Russia);

Oksana B. Polivanova, CSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Vladimir V. Pylnev**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

ChRA **Viatcheslav V. Rozhnov**, DSc (Bio), Member of RAS, (Institute of ecology and evolution A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);

Prof. **Aleksandr M. Rusanov**, DSc (Bio), (Orel State University, Orel, Russia);

Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio), (All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo, Russia);

Assoc. Prof. **Ekaterina V. Solomonova**, CSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

SRA **Aleksandr V. Tkachev**, DSc (Ag), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Marat R. Khaliluev**, CSc (Bio), (All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia);

Assoc. Prof. **Mikhail Yu. Cherednichenko**, CSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);

LRA **Andrey V. Shcherbakov**, DSc (Bio), (MSU, Moscow, Russia);

Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbaev**, DSc (Ag), Member of RAS (RSAU-MTAA, Moscow, Russia).

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **Marina A. Polshina**

Editor – **Vera I. Markovskaya**

Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**

Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

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

- Оригинальная научная статья
Д.Л. Матюхин
 Некоторые особенности систем побегов у представителей
 трибы Sequoieae, культивируемых в России..... 6
- Original article
Dmitriy L. Matyukhin
 Some Features of the Shoot Systems in Representatives
 of the Tribe Sequoieae, Cultivated in Russia..... 6

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

- Оригинальная научная статья
И.В. Андреева, В.В. Габечая,
Д.В. Морев, Е.Б. Таллер
 Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых
 металлов в почве разновозрастных ампелоценозов
 в условиях склонового ландшафта горной гряды
 Фрушка гора Республики Сербия..... 13
- Original article
Irina V. Andreeva, Valeriya V. Gabechaya,
Dmitriy V. Morev, Evgeniy B. Taller
 Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal
 Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses
 in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain
 Range, Republic of Serbia 13
- Оригинальная научная статья
М.В. Тихонова, Е.М. Илюшкова, А.И. Белолубцев,
Я.С. Жигалева, С.Ю. Ермаков, А.В. Бузылёв,
Н.А. Александров
 Закономерности формирования снежного покрова
 в различных экосистемах города Москвы 29
- Original article
Maria V. Tikhonova, Elena M. Ilyushkova,
Aleksandr I. Belolyubtsev, Yaroslava S. Zhigaleva,
Sergey Yu. Ermakov, Aleksey V. Buzylev,
Nikita A. Aleksandrov
 Regularities of Snow Cover Formation in Different
 Ecosystems of Moscow..... 29

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

- Оригинальная научная статья
В.Г. Вертипрахов, Э.Ф. Садыхов, М.А. Бурова
 Определение показателей артериального давления
 у цыплят-бройлеров и кроликов для оценки функции
 сердечно-сосудистой системы 37
- Original article
Vladimir G. Vertiprakhov, Eduard F. Sadykhov,
Mariya A. Burova
 Determination of Blood Pressure Indexes in Broiler
 Chickens and Rabbits to Assess Cardiovascular Function 37
- Оригинальная научная статья
Л.В. Маловичко, А.В. Зубков, А.В. Диков
 Влияние некоторых массовых видов птиц на урожай
 плодово-ягодных культур в Мичуринском саду РГАУ-
 МСХА имени К.А. Тимирязева 43
- Original article
Lyubov' V. Malovichko, Aleksandr V. Zubkov,
Andrey V. Dikov
 Effect of Some Common Bird Species on Yield of Fruit and Berry
 Crops in the Michurinskiy Garden of the Russian State Agrarian
 University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy 43
- Оригинальная научная статья
Л.В. Маловичко, В.В. Кузнецова
 Факторы элиминации сойки в Центральном Предкавказье... 51
- Original article
Lyubov' V. Malovichko, Valeriya V. Kuznersova
 Factors of Jay Elimination in the Central Pre-Caucasus..... 51
- Оригинальная научная статья
А.А. Василевская
 Анализ показателей разнообразия и сходства сообществ
 птиц в 2018-2022 гг. в парках города Москвы..... 59
- Original article
Alexandra A. Vasilevskaya
 Analysis of Diversity and Similarity Indexes of Bird
 Communities in Moscow Parks in 2018-2022..... 59

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

- Оригинальная научная статья
С.С. Козак, Е.С. Баранович, Ю.А. Козак
 Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы
 сальмонеллезом..... 71
- Original article
Sergey S. Kozak, Evgeniya S. Baranovich, Yulia A. Kozak
 Salmonellosis Incidence in Farm Animals and Poultry 71
- Оригинальная научная статья
Н.М. Ли, Ле Хуин Тхи Зьем Шыонг, А.А. Миронов
 Морфологические и генетические характеристики
 штаммов *Cordyceps militaris* во Вьетнаме 78
- Original article
Ly Minh Nguyen, Suong Le Huynh Thi Ziem,
Aleksey A. Mironov
 Morphological and Genetic Characterization of *Cordyceps*
militaris Strains in Vietnam 78

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО,
КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬSOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT,
LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

- Оригинальная научная статья
Ю.Е. Гусева, Г.А. Смолина, А.М. Пронин
 Влияние разных форм азота и бора на урожай
 и вынос макроэлементов льном-долгунцом (*Linum*
usitatissimum L.f. elongata) при возделывании
 на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве..... 85
- Original article
Yuliya E. Guseva, Galina A. Smolina, Aleksey M. Pronin
 Effect of Different Forms of Nitrogen and Boron
 on the Yield and Removal of Macroelements by Fiber
 Flax (*Linum usitatissimum L.f. elongata*) when Cultivated
 on Sod-Podzol Medium Loamy Soil..... 85
- Оригинальная научная статья
В.Г. Мамонтов, С.А. Беляева, А.М. Поляков
 Элементный состав гуминовых кислот гранулометрических
 фракций чернозема типичного целинного 96
- Original article
Vladimir G. Mamontov, Svetlana A. Belyaeva,
Aleksey M. Polyakov
 Elemental Composition of Humic Acids of Granulometric
 Fractions in Typical Virgin Chernozem 96

БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Оригинальная научная статья
УДК 57.063.6: 581.4: 582.476
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>



Некоторые особенности систем побегов
у представителей трибы Sequoieae, культивируемых в России

Дмитрий Леонидович Матюхин

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

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Леонидович Матюхин; d.matukhin@rgau-msha.ru

Аннотация. В статье рассмотрены приросты побегов у трех существующих в настоящее время видов, входящих в трибу секвойевых: *Metasequoia glyptostroboides*, *Sequoia sempervirens* и *Sequoiadendron giganteum*, структура которых изучена недостаточно. Материал был собран в коллекциях ботанических садов Черноморского побережья Кавказа и Крыма. За один продолжительный период роста у всех трех видов образуются системы побегов разной степени сложности: от неразветвленных, состоящих из одного элементарного, до силлептически разветвленных многоосных систем. У *S. giganteum* системы побегов, образующиеся за один период внепочечного роста, сходны с другими кипарисовыми, и частично – с сосновыми и подокарповыми. У *Metasequoia glyptostroboides* и *Sequoia sempervirens* силлептически разветвленные системы дифференцированы на несколько вариантов: на ортотропных побегах в верхней части прироста силлептически образуются плагиотропные ветви, которые продолжают рост после остановки ортотропной части системы побегов. Боковые силлептические побеги плагиотропные продолжают ветвление до боковых побегов второго порядка. Подобные структуры известны у *Araucaria* и ископаемых архаичных хвойных. У *M. glyptostroboides* и *S. sempervirens* имеются филломорфные ветви такого же облика, что описаны для *Tsuga canadensis*. Для этих видов характерны также почки, образующиеся сериально ниже силлептически отрастающего побега. У *M. glyptostroboides* филломорфные ветви ежегодно опадают, их многолетние основания формируют нарастающий базисимподиально укороченный побег. Почка возобновления в отличие от *Taxodium distichum* не погружена под кору.

Ключевые слова: побеги, приросты, брахибласты, филломорфные ветви, моноритмические системы побегов.

Для цитирования: Матюхин Д.Л. Некоторые особенности систем побегов у представителей трибы Sequoieae, культивируемых в России // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>

© Матюхин Д.Л., 2023

BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>



Some Features of the Shoot Systems in Representatives
of the Tribe Sequoieae, Cultivated in Russia

Dmitriy L. Matyukhin

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

Corresponding author: Dmitriy L. Matyukhin, d.matukhin@rgau-msha.ru

Abstract. The article focuses on the growth rates of three extant species belonging to the tribe Sequoieae: *Metasequoia glyptostroboides*, *Sequoia sempervirens* and *Sequoiadendron giganteum*. The material was collected from botanical garden collections on the Black Sea coast of the Caucasus and Crimea. During a long growing season, all three species form shoot systems of varying complexity: from unbranched shoots consisting of a single elementary shoot to sylleptically branched multi-axial systems. In *S. giganteum*, the shoot systems formed during an extra-bud growth period are similar to those of other Cupressaceae species and partly to those of Pinaceae. In *Metasequoia glyptostroboides* and *Sequoia sempervirens*, sylleptically branched shoot systems are differentiated into several variants: on orthotropic shoots in the upper part of the growth, plagiotropic branches are sylleptic and continue to grow after the orthotropic part of the shoot system has stopped growing. Plagiotropic sylleptic lateral shoots continue to branch into second-order lateral shoots. Similar structures

are found in *Araucaria* and archaic fossil conifers. *M. glyptostroboides* and *S. sempervirens* have phyllomorphic branches of the same appearance as those described for *Tsuga canadensis*. Plagiotropic lateral sylleptic shoots continue to branch into second-order lateral shoots. Similar structures are known in *Araucaria* and fossil archaic conifers. *M. glyptostroboides* and *S. sempervirens* have phyllomorphic branches of the same appearance as described for *Tsuga canadensis*. These species are also characterized by buds formed serially below the sylleptically growing shoot. In *M. glyptostroboides*, the phyllomorphic branches fall off annually, and their perennial bases form a growing, basisympodially shortened shoot. The renewal bud is not located under the bark, as in *Taxodium distichum*.

Keywords: shoots, growths, brachyblasts, phyllomorphic branches, monorhythmic shoot systems

For citation: Matyukhin D.L. Some Features of the Shoot Systems in Representatives of the Tribe Sequoieae, Cultivated in Russia. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:6-12. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12> (In Rus.)

© Matyukhin D.L., 2023

Введение

В состав трибы секвойевых (*Sequoieae*) входят три монотипных реликтовых рода *Metasequoia* S. Miki, *Sequoia* Endlicher, *Sequoiadendron* J. Buchholz. Изучение и понимание особенностей роста самых больших современных древесных растений [1] представляют значительный интерес. Три современных вида трибы дают возможность выделить и оценить некоторые приспособления у побегов растений группы, помогающие видам адаптироваться к конкурентным условиям современных субтропических лесов северного полушария. Биология и способы размножения этих важных для лесного садово-паркового хозяйства растений находятся в центре внимания исследователей [2-16]. Цель исследований: выявить и обсудить особенности роста побегов у растений трибы *Sequoieae*, культивируемых в России.

Методика исследований

На наш взгляд, для корректного сравнения в качестве единицы структуры следует рассматривать не побег как универсальную единицу тела растения [17], а системы побегов, возникающие за один период внепочечного роста. Эти элементы Л.Е. Гатцук в неопубликованных материалах своей диссертации (1970) назвала системами элементарных моноритмических побегов [18]. Данные системы могут быть неразветвленными и тождественными элементарным побегам, а могут состоять из многих осей, формирующихся за счет силлептического ветвления, и тогда они соответствуют модулям в исходном смысле: система побегов, отрастающая за период роста [19]. В понимании Томлинсона [20] сходная структура называется единицей расширения (units of extension). Предлагается их назвать моноритмическими системами побегов (МСП). У рассматриваемых видов существуют два варианта границ таких структур. В случае прерывистого роста границами МСП служат почечные чешуи (у *Metasequoia* и *Sequoia*), зоны укороченных листьев и междоузлий (у *Sequoiadendron* без почечных чешуй, почки открытые) [21].

Материал для исследований был собран в 1986-2014 гг. в коллекциях следующих ботанических садов СССР и Российской Федерации:

в Батумском ботаническом саду (1984-1986, 1989 гг.); в Фондовой оранжерее и Дендрарии Главного ботанического сада РАН (1985-2014 гг.); в оранжерее Ботанического института РАН (1986, 2000, 2003 гг.); в Государственном Никитском ботаническом саду (1986, 2016 гг.); в Ботаническом саду и Дендрарии МСХА (1988-2015 гг.); в Сочинском дендрарии (1988-2014 гг.); в парке «Южные культуры» (1988-2014 гг.); в Субтропическом ботаническом саду Кубани (2000-2014 гг.) [22].

Моноритмические системы побегов (далее – МСП) – это системы побегов, возникающие за один период внепочечного роста. Эти системы могут быть неразветвленными, и тогда они соответствуют элементарным побегам, а могут состоять из многих побегов, формирующихся за счет силлептического ветвления.

Анализировались все обнаруженные варианты строения МСП. Они различаются как в пределах отдельного растения, так и у разных экземпляров, существовавших и развивавшихся в различных условиях. Поэтому их полноценной характеристикой будет множество, состоящее из всех установленных вариантов структуры приростов как элементов такого множества в пределах родов.

Ростовыми побегами здесь и ниже будем называть побеги, у которых функция захвата и освоения пространства является основной и доминирует над функцией воздушного питания (фотосинтез и связанные с ним газообмен и транспирация). Побеги, основной функцией которых является обеспечение фотосинтеза, будем называть трофическими. Структурно существенных различий между ростовыми и трофическими побегами нет; они различаются функционально, по размерам и по соотношению стебля и листьев.

Результаты и их обсуждение

Metasequoia. Для рода установлено 6 типов МСП, представленных силлептически ветвящимися до боковых ветвей второго порядка либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 1). Рост прерывистый. Ростовые побеги радиально симметричные, ортотропные, приподнимающиеся или плагиотропные. Неразветвленные МСП представлены удлиненными побегами с верхушечной почкой (рис. 1.1), характерны для ювенильных особей в условиях средней освещенности. С возрастом осевая часть становится многолетней. Другой вариант одноосной МСП лишен верхушечной почки (рис. 1.2) и характерен для затененной части кроны. Мощные ростовые побеги способны к силлептическому ветвлению, образуют боковые, многолетние впоследствии, побеги следующего порядка ветвления. Трофические побеги представлены брахибластами (рис. 1.6). Они имеют оформленную боковую почку в базальной части побега. Билатеральные листостебельные брахибласты образуются либо на растущих удлиненных побегах в результате силлептического ветвления (рис. 1.3-1.5), либо из зимовавших боковых почек на многолетних ростовых побегах (рис. 1.6). При отрастании верхушка брахибласта полностью расходится, не образуя верхушечной почки. Побег живет в течение одного вегетационного периода, затем отмирает и опадает с образованием отделительного слоя и зимующей почки в пазухе почечной чешуи. Эти побеги сходны с филломорфными ветвями *Sequoia* и *Tsuga* [22], но имеют детерминированный рост и живут в течение одного сезона.

Билатеральносимметричные укороченные побеги часто входят в состав разветвленных филломофных ветвей, подобных дваждыперистым листьям (рис. 1.4). Они опадают целиком, оставляя веточные рубцы. При этом возможно опадение разветвленной системы побегов не только целиком подобно рассеянному простому листу, но и по частям: сначала опадают отдельные брахибласты, затем – оси, на которых они располагались, подобно рахисам дваждыперистосложных листьев. Боковые почки яйцевидно-конические, развиваются либо в пазухах листьев, либо сериально по отношению к боковым побегам – как ростовым, так и брахибластам (рис. 1.3, 1.4). На ростовых побегах расположены рассеянно, на брахибластах – компактно: в пазухе одной из верхней пары почечных чешуй [25]. Стебли – с приросшими основаниями листьев, голые. Листья супротивные, двух формаций. Низовая формация представлена почечными чешуями и зелеными катафиллами на ростовых побегах. Листья срединной формации, короткочерешковые или почти сидячие, на укороченных побегах супротивные и двурядные [21].

Sequoia. Для рода установлено 5 типов МСП, представленных силлептически ветвящимися до боковых ветвей второго порядка либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 2). Рост непрерывный у ростовых побегов низких порядков ветвления и прерывистый – у трофических. На ортотропных ростовых побегах наблюдается прерывистый рост с образованием боковых силлептических побегов первого порядка. Ростовые побеги радиально симметричные, ортотропные, приподнимающиеся или плагиотропные (рис. 2.1). Трофические побеги силлептические и пролептические, представленные билатеральными филломорфными ветвями с верхушечными почками (рис. 2.2), либо верхушечные почки полностью расходуются (рис. 2.3). Их специализация недетерминирована, и при изменении условий побеги могут становиться ортотропными и радиально-симметричными. Филломорфные ветви могут нарастать в течение нескольких лет, быть разветвленными или неразветвленными [25]. Мощные ростовые побеги способны к силлептическому ветвлению, образуют боковые, многолетние впоследствии, побеги следующего порядка ветвления (рис. 2.4, 2.5). Отличия ювенильных побегов от взрослых невелики.

Почки закрытые, яйцевидные или яйцевидно-конические. Почечные чешуи килеватые. Осмоление отсутствует. Часто встречаются сериальные почки, реже – сериальные силлептические побеги. Боковые почки и силлептические побеги в составе МСП расположены рассеянно по всей длине побега, очень редко – компактно в верхушечной ложной мутовке. Поверхность стебля – с приросшими основаниями листьев, голая.

Листья низовой формации представлены почечными чешуями. Листья срединной формации игловидные, с низбегающими основаниями. Явный черешок отсутствует, его заменяет поворот пластинки [21].

Sequoiadendron. Для рода установлено 5 типов МСП (рис. 3), представленных силлептически ветвящимися до третьего порядка (рис. 3.2-3.4) либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 3.1, 3.5). Рост непрерывный. Ростовые побеги радиально-симметричные, ортотропные или приподнимающиеся. Трофические побеги косо вверх восходящие. Ювенильные побеги не изучены. Специализированных укороченных побегов и филломорфных ветвей нет.

Боковые побеги возникают в результате силлептического ветвления. На мощных ростовых побегах образуются заметные гипоподии, длина листьев на протяжении прироста одинакова. У менее развитых трофических МСП наблюдается увеличение листа к середине прироста с последующим уменьшением его размеров к верхушке. Одновременный рост боковых и материнского побегов сохраняется, боковые побеги силлептические, гипоподий является невыраженным. Боковые побеги распределяются по длине прироста равномерно, компактных зон ветвления нет. Стебли с приросшими основаниями листьев – без опушения. Почки открытые.

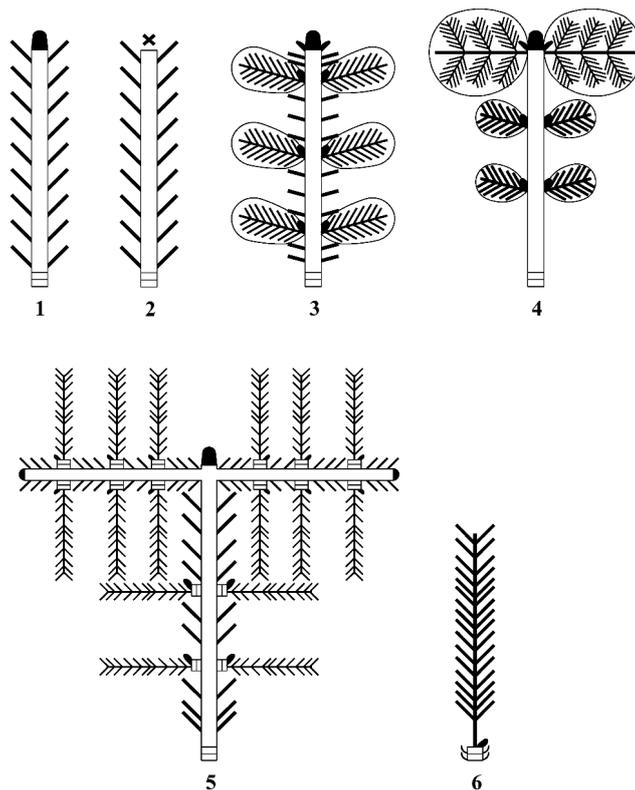


Рис. 1. Организация МСП у *Metasequoia glyptostroboides*:

- 1 – неразветвленная МСП с закрытой верхушечной почкой;
- 2 – неразветвленная МСП с отмершей верхушечной почкой;
- 3 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка, представленными однолетними брахибластами с сериальными почками возобновления;
- 4 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков, представленными однолетними структурами;
- 5 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков, однолетними и зимующими;
- 6 – брахибласт, в дальнейшем нарастающий базисимподиально

Fig. 1. Organization of monorhythmic shoot systems (MSS) in *Metasequoia glyptostroboides*

- 1 – unbranched MSS with a closed apical bud; 2 – unbranched MSS with a dead apical bud;
- 3 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots represented by annual brachyblasts with serial buds of renewal;
- 4 – sylleptically branched MSS with the first- and second- order lateral shoots represented by annual structures;
- 5 – sylleptically branched MSS with the first- and second- order lateral shoots, annual and wintering;
- 6 – brachyblast, further growing basisympodially

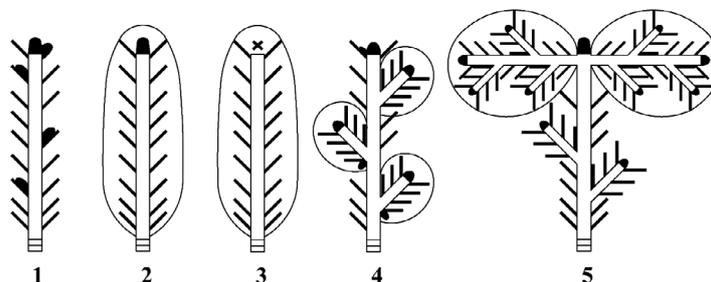


Рис. 2. Организация МСП у *Sequoia sempervirens*:

- 1 – неразветвленный побег с боковыми почками, распределенными по длине побега;
- 2 – неразветвленный плоский побег с верхушечной почкой;
- 3 – неразветвленный плоский побег с отмершей верхушечной почкой;
- 4 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка;
- 5 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков

Fig. 2. Organization of MSSs in *Sequoia sempervirens*

- 1 – unbranched shoot with lateral buds distributed along the length of the shoot; 2 – unbranched flat shoot with an apical bud;
- 3 – unbranched flat shoot with a dead apical bud; 4 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots;
- 5 – sylleptically branched SME with the first- and second-order lateral shoots

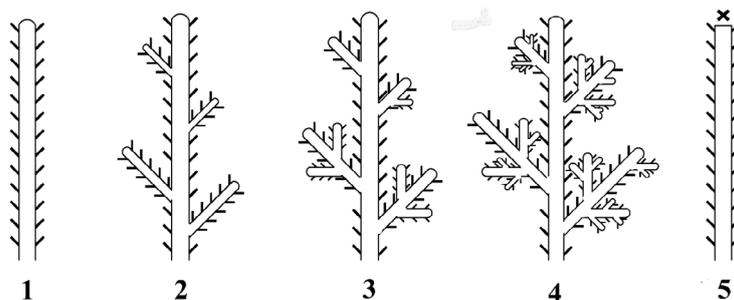


Рис. 3. Организация МСП у *Sequoiadendron giganteum*:

- 1 – неразветвленный побег с открытой верхушечной почкой;
- 2 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка;
- 3 – то же с боковыми побегами первого и второго порядков;
- 4 – то же с боковыми побегами первого, второго и третьего порядков;
- 5 – неразветвленный побег с отмершей верхушечной почкой. Все почки открытые

Fig. 3. Organisation of MSSs in *Sequoiadendron giganteum*

- 1 – unbranched shoot with an open apical bud; 2 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots;
- 3 – the same with the first- and second-order lateral shoots; 4 – the same with the first-, second- and third-order lateral shoots;
- 5 – unbranched shoot with a dead apical bud. All the buds are open

Листья срединной формации чешуевидные, с присосшим к стеблю низбегающим основанием. Листья низовой формации отсутствуют [21].

Системы моноритмических побегов у *Sequoiadendron giganteum* представляют собой набор структур, весьма распространенных у Cupressaceae и у других семейств хвойных. Сходные наборы МСП имеются у родов *Callitris*, *Chamaecyparis*, *Cryptomeria*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Taiwania* (Cupressaceae), *Dacrydium* (Podocarpaceae); с учетом меньшего порядка ветвления – у *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, а без укороченных побегов – еще и у *Cedrus*, *Larix*, *Pseudolarix* (Pinaceae).

Таким образом, можно предполагать, что такие системы роста являются исходными для хвойных. В рассматриваемой трибе именно такая организация моноритмических систем побегов также скорее всего является исходной. На архаичность побегов этого типа указывает наличие открытых почек: нет специализированных почечных чешуек, есть только чешуевидные зеленые листья.

У ортотропных МСП *Sequoia sempervirens* и *Metasequoia glyptostroboides* наблюдается образование плагиотропных силлептических боковых побегов и систем побегов. Ортотропная часть обладает прерывистым ростом, завершает его ко времени начала отрастания боковых силлептических побегов первого порядка ветвления, которые продолжают рост. МСП такого строения позволяют формировать незатененную новую ассимилирующую поверхность. Она обеспечивает максимальное использование светового потока.

У *M. glyptostroboides* и *S. sempervirens* имеются филломорфные ветви такого же облика, что описаны для *Tsuga canadensis* [24]. Для этих видов характерны также почки, образующиеся сериально, ниже силлептически отрастающего побега. У *M. glyptostroboides* филломорфные ветви ежегодно опадают, их многолетние основания формируют нарастающий базисимподиально укороченный побег. Почка возобновления в отличие от *Taxodium distichum* не погружена под кору.

Плагиотропные, силлептические, длительно растущие системы побегов, образующиеся у верхушек ортотропных побегов, характерны для архаичных хвойных из семейств Araucariaceae и Walchiaceae [20, 23]. Их наличие свидетельствует о росте в условиях безморозного климата с длительным вегетационным периодом. Они конвергентно сходны с различными группами растений архитектурных моделей Holtum, Corner, Tomlinson, Schoute, Massart, Cook, Rauh, Attims, Troll [24]. В климате с продолжительным холодным сезоном это же явление подразделяется на два сезона: в первый сезон отрастает вертикальная часть системы, а во второй – обратная, почти горизонтальная поверхность из боковых побегов.

Выводы

Моноритмические системы побегов у трех видов трибы Sequoieae существенно отличаются. У *Sequoiadendron giganteum* наиболее архаичный набор вариантов, мало отличающийся от структур, сформировавшихся у хвойных еще в палеозое. У *Sequoia sempervirens* побеги дифференцированы с формированием продвинутых филломорфных ветвей и закрытых почек с кожистыми почечными чешуями. У *Metasequoia glyptostroboides* оформились опадающие в конце вегетационного периода филломорфные ветви и базисимподиально нарастающие брахибласты. Структуры, характерные для трибы, сформировались в безморозном климате, и их приспособлений недостаточно, чтобы продвинуться на север.

Список источников

1. Earle C.J. The Gymnosperm Database. 2023. URL: <http://www.conifers.org> (дата обращения 01.11.2023).
2. Scott A.D., Zimin A.V., Puiu D., et al. A reference genome sequence for giant sequoia. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2020;10(11):3907-3919. <http://doi.org/10.1534/g3.120.401612>
3. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J. et al. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *Forest Ecology and Management*. 2022;511:120110. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120110>
4. Sillett S.C., Antoine M.E., Carroll A.L., et al. Ranges-wide climatic sensitivities and non-timber values of tall Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2022;526:120573. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120573>
5. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Above-ground biomass dynamics and growth efficiency of Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;458:117740. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117740>
6. De La Torre A.R., Sekhwal M.K., Puiu D., et al. Genome wide association identifies candidate genes for drought tolerance in coast redwood and giant sequoia. *The Plant Journal*. 2022;109(1):7-22. <http://doi.org/10.1111/tpj.15592>
7. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Structure and dynamics of forests dominated by Sequoiadendron giganteum. *Forest Ecology and Management*. 2019;448:218-239. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.064>
8. Cox L.E., York R.A., Battles J.J. Growth and form of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) in a plantation spacing trial after 28 years // *Forest Ecology and Management*. 2021;488:119033. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119033>
9. Bold G., Langer M., Börnert L., Speck T. The protective role of bark and bark fibers of the giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) during high-energy impacts. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(9):3355. <http://doi.org/10.3390/ijms21093355>
10. Williams C.B., Reese Næsborg R., Ambrose A.R. et al. The dynamics of stem water storage in the tops of Earth's largest trees – Sequoiadendron giganteum. *Tree Physiology*. 2021;41(12):2262-2278. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpab078>
11. Iberle B.G., Van Pelt R., Sillett S.C. et al. Development of mature second-growth Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;459:117816. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117816>
12. Fu F., Song C., Wen C., et al. The Metasequoia genome and evolutionary relationships among redwoods. *Plant Communications*. 2023; 4(6):1006434. <http://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100643>
13. Fan Y., Wang L., Su T., et al. Spring drought as a possible cause for disappearance of native Metasequoia in Yunnan Province, China: Evidence from seed germination and seedling growth. *Global Ecology and Conservation*. 2020;22: e00912. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00912>
14. Zhao Z., Wang Y., Zang Z. Climate warming has changed phenology and compressed the climatically suitable

References

1. Earle C.J. The Gymnosperm Database. 2023. URL: <http://www.conifers.org>
2. Scott A.D., Zimin A.V., Puiu D., et al. A reference genome sequence for giant sequoia. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2020;10(11):3907-3919. <http://doi.org/10.1534/g3.120.401612>
3. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J. et al. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *Forest Ecology and Management*. 2022;511:120110. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120110>
4. Sillett S.C., Antoine M.E., Carroll A.L., et al. Ranges-wide climatic sensitivities and non-timber values of tall Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2022;526:120573. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120573>
5. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Above-ground biomass dynamics and growth efficiency of Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;458:117740. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117740>
6. De La Torre A.R., Sekhwal M.K., Puiu D., et al. Genome wide association identifies candidate genes for drought tolerance in coast redwood and giant sequoia. *The Plant Journal*. 2022;109(1):7-22. <http://doi.org/10.1111/tpj.15592>
7. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Structure and dynamics of forests dominated by Sequoiadendron giganteum. *Forest Ecology and Management*. 2019;448:218-239. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.064>
8. Cox L.E., York R.A., Battles J.J. Growth and form of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) in a plantation spacing trial after 28 years. *Forest Ecology and Management*. 2021;488:119033. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119033>
9. Bold G., Langer M., Börnert L., Speck T. The protective role of bark and bark fibers of the giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) during high-energy impacts. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(9):3355. <http://doi.org/10.3390/ijms21093355>
10. Williams C.B., Reese Næsborg R., Ambrose A.R. et al. The dynamics of stem water storage in the tops of Earth's largest trees – Sequoiadendron giganteum. *Tree Physiology*. 2021;41(12):2262-2278. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpab078>
11. Iberle B.G., Van Pelt R., Sillett S.C. et al. Development of mature second-growth Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;459:117816. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117816>
12. Fu F., Song C., Wen C., et al. The Metasequoia genome and evolutionary relationships among redwoods. *Plant Communications*. 2023; 4(6):1006434. <http://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100643>
13. Fan Y., Wang L., Su T., et al. Spring drought as a possible cause for disappearance of native Metasequoia in Yunnan Province, China: Evidence from seed germination and seedling growth. *Global Ecology and Conservation*. 2020;22: e00912. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00912>
14. Zhao Z., Wang Y., Zang Z. Climate warming has changed phenology and compressed the climatically suitable

habitat of *Metasequoia glyptostroboides* over the last half century. *Global Ecology and Conservation*. 2020.23: e01140. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01140>

15. Huang X., Zhu J., Yao L., et al. Structure and spatial distribution pattern of a native *Metasequoia glyptostroboides* population in Hubei. *Biodiversity Science* 2020;28(4):463. <http://doi.org/10.17520/biods.2019283>

16. Yang C., Zhang X., Wang T., et al. Phenotypic plasticity in the structure of fine adventitious *Metasequoia glyptostroboides* roots allows adaptation to aquatic and terrestrial environments. *Plants*. 2019;8(11):501. <http://doi.org/10.3390/plants8110501>

17. Гатцук Л.Е. Геммаксиллярные растения и система соподчиненных единиц их побегового тела. Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1974.79(1):100-113.

18. Матюхин Д.Л. Системы элементарных моноритмических побегов у хвойных. Известия ТСХА. 2012;1:142-152. <http://doi.org/10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-1-37-45>

19. Prevost M.F. Architecture del quelques Apocynacees ligneuses. *Mem. Soc. Bot. Fr.* 1967;4:24-36.

20. Tomlinson P.B. Crown structure in Araucariaceae. Available at website Proceedings of the International Dendrology Society, Araucariaceae, Auckland. 2003:16.

21. Матюхин Д.Л. Моноритмические системы побегов у хвойных: Дис. ... докт. биол. наук: 1.5.9. Ботаника (Препринт / Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН). URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gbsad.ru/doc/2022/dissovet/matyuhin/diss-matyuhin.pdf> (Дата обращения 15.10.2023).

22. Матюхин Д.Л. Разнообразие филломорфных ветвей у хвойных. Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2023;128(1):37-45.

23. Мейен С.В. Основы палеоботаники: справочное пособие. М.: Недра, 1987:380.

24. Hallé F., Oldeman R.A., Tomlinson P.B. *Tropical Trees and Forests*. Berlin: Springer-Verlag. 1978:441.

25. Матюхин Д.Л. О необычном варианте апикального доминирования в приростах у Araucariaceae и Cupressaceae / Д.Л. Матюхин // Биоморфология растений: традиции и современность: Материалы Международной научной конференции, Киров, 19-21 октября 2022 года. Киров: Вятский государственный университет, 2022:145-149. EDN QWWMER

Сведения об авторе

Дмитрий Леонидович Матюхин, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: d.matukhin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0368-4340>

Статья поступила в редакцию 08.11.2023
Одобрена после рецензирования 27.11.2023
Принята к публикации 01.12.2023

habitat of *Metasequoia glyptostroboides* over the last half century. *Global Ecology and Conservation*. 2020.23: e01140. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01140>

15. Huang X., Zhu J., Yao L., et al. Structure and spatial distribution pattern of a native *Metasequoia glyptostroboides* population in Hubei. *Biodiversity Science*. 2020;28(4):463. <http://doi.org/10.17520/biods.2019283>

16. Yang C., Zhang X., Wang T., et al. Phenotypic plasticity in the structure of fine adventitious *Metasequoia glyptostroboides* roots allows adaptation to aquatic and terrestrial environments. *Plants*. 2019;8(11):501. <http://doi.org/10.3390/plants8110501>

17. Gatsuk L.E. Gemmaxillary plants and the system of subordinate units of their shoot body. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 1974;79(1):100-113. (In Rus.)

18. Matyukhin D.L. Systems of elementary monorhythmic shoots in conifers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;1:142-152. <http://doi.org/10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-1-37-45> (In Rus.)

19. Prevost M.F. Architecture del quelques Apocynacees ligneuses. *Mem. Soc. Bot. Fr.* 1967;4:24-36.

20. Tomlinson P.B. Crown structure in Araucariaceae. Available at website Proceedings of the International Dendrology Society, Araucariaceae, Auckland. 2003:16.

21. Matyukhin D.L. Monorhythmic systems of shoots in conifers: DSc (Bio) thesis: 1.5.9. Botany (Preprint / The Tsitsin Main Botanical Garden of Academy of Sciences). Access mode: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gbsad.ru/doc/2022/dissovet/matyuhin/diss-matyuhin.pdf> (Access date: 10.15.2023) (In Rus.)

22. Matyukhin D.L. Diversity of phyllomorphic branches in conifers. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2023;128(1):37-45. (In Rus.)

23. Meyen S.V. *Fundamentals of paleobotany*. M.: Nedra, 1987:380. (In Rus.)

24. Hallé F., Oldeman R.A., Tomlinson P.B. *Tropical Trees and Forests*. Berlin: Springer-Verlag. 1978:441.

25. Matyukhin D.L. On the unusual variant of apical dominance in growth in Araucariaceae and Cupressaceae. *Biomorfologiya rasteniy: traditsii i sovremennost'*: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Kirov, 19-21 oktyabrya 2022 goda. Kirov: Vyatskiy gosudarstvenniy universitet, 2022:145-149. EDN QWWMER (In Rus.)

Information about the author

Dmitriy L. Matyukhin, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Selection and Seed Production of Garden Plants, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: d.matukhin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0368-4340>

The article was submitted to the editorial office 08 Nov 2023
Approved after reviewing 27 Nov 2023
Accepted for publication 01 Dec 2023

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 504.5: 631.453 (497.11)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>



**Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов
в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта
горной гряды Фрушка гора Республики Сербия**

**Ирина Викторовна Андреева, Валерия Вячеславовна Габечая,
Дмитрий Владимирович Морев, Евгений Борисович Таллер**

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

Автор, ответственный за переписку: Андреева Ирина Викторовна; i.andreeva@rgau-msha.ru

Аннотация. Цель исследований заключалась в эколого-геохимической оценке латеральной миграции тяжелых металлов в верхних горизонтах бурой лесной остаточно-карбонатной почвы в транзитном геохимическом ландшафте под разновозрастными виноградниками, выращиваемыми на склонах горной гряды Фрушка гора в Республике Сербия. Практическая значимость работы состояла в уточнении уровня экологического риска при культивировании разновозрастных виноградников в условиях проявления склоновых эрозионных процессов. Отбор почвенных проб проводили в рядах винограда в пределах сопряженных транзитных ландшафтов склонов с глубины 0-5, 5-15 и 15-30 см. Валовое содержание тяжелых металлов в почве и ягодах винограда определяли атомно-адсорбционным методом после микроволнового разложения. Результаты исследований показали высокую активность миграции меди и хрома в почве 15-летнего действующего виноградника от трансэлювиальной к трансаккумулятивной фации с усилением в горизонте 15-30 см. В почве выведенного из эксплуатации 100-летнего виноградника преобладала радиальная миграция с накоплением железа, марганца, кобальта и интенсивным накоплением меди с коэффициентом латеральной дифференциации 3,21 в горизонте 15-30 см в средней части склона. Максимальное содержание меди в почве возрастного виноградника составило 115,4 мг/кг, что на 28% превышает установленную в Республике Сербия величину максимально допустимого количества для среднесуглинистых почв. Близкие к нормативному значения содержания меди в почве молодого ампелоценоза (87,4-93,2 мг/кг) были обнаружены в нижней части склона по всей исследуемой глубине 0-30 см, которые были достигнуты всего за 15 лет выращивания. Максимальное накопление меди в ягодах (7,7 мг/кг) обнаружено в 100-летнем винограднике, расположенном в нижней части склона, где верхние горизонты почвы в отсутствие пестицидных обработок обеднены медью. Это косвенно свидетельствует о многолетней миграции меди в нижележащие горизонты почвы в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта во влажный сезон года и о ее извлечении глубокой корневой системой старых виноградных растений.

Ключевые слова: почвы ампелоценозов, виноградник, склоновый ландшафт, почвы склонов, геохимический ландшафт, тяжелые металлы, загрязнение почвы, медь, миграция тяжелых металлов, бурая лесная почва, Фрушка гора, Сербия

Для цитирования: Андреева И.В., Габечая В.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б. Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта горной гряды Фрушка гора Республики Сербия // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 13-28. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

© Андреева И.В., Габечая В.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б., 2023

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28>

Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain Range, Republic of Serbia

Irina V. Andreeva, Valeriya V. Gabechaya, Dmitriy V. Morev, Evgeniy B. Taller

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

Corresponding author: Irina V. Andreeva, i.andreeva@rgau-msha.ru

Abstract. The aim of the present research was the ecological and geochemical assessment of the lateral migration of heavy metals in the upper horizons of brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisol) in a transit geochemical landscape under different-aged vineyards grown on the slopes of the Fruška Gora mountain range in the Republic of Serbia. The practical significance of the work was to clarify the level of ecological risk in the cultivation of different-aged vineyards in the conditions of slope erosion processes. Soil samples were taken from rows of vines in transit slope landscapes at depths of 0-5, 5-15 and 15-30 cm. The total content of heavy metals in soil and grape berries was determined by atomic adsorption method after microwave decomposition. The results of the study showed a high activity of copper and chromium migration in the soil of a 15-year-old active vineyard from trans-eluvial to trans-accumulative facies with intensification in the 15-30 cm horizon. Radial migration with accumulation of iron, manganese, cobalt and intensive accumulation of copper with a lateral differentiation coefficient of 3.21 in the 15-30 cm horizon in the middle part of the slope prevailed in the soil of the abandoned 100-year-old vineyard. The highest copper concentration found in the soil of the old vineyard was 115.4 mg/kg, which is 28% higher than the maximum permissible copper content established for medium loamy soils in the Republic of Serbia. Copper content levels in the soils of the young ampelocoenosis were close to the normative values (87.4-93.2 mg/kg), found in the lower part of the slope up to a depth of 30 cm, which were achieved after only 15 years of cultivation. The highest copper concentration in grapes (7.7 mg/kg) was found in a 100-year-old vineyard located in the lower part of the slope, where the upper soil horizons were copper-depleted in the absence of pesticide treatments. This indirectly indicates the perennial migration of copper to the underlying soil horizons under trans-accumulative elemental landscape conditions during the wet season of the year and its extraction by the deep root system of old vines.

Key words: ampelocoenosis soils, vineyard, slope landscape, slope soils, geochemical landscape, heavy metals, soil pollution, copper, heavy metal migration, brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisol), Fruška Gora Mountain, Serbia

For citation: Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Morev D.V., Taller E.B. Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain Range, Republic of Serbia. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;3:13-28. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28> (In Rus.)

© Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Morev D.V., Taller E.B., 2023

Введение

Виноградники представляют собой уникальный тип агроэкосистем, распространенных в горных и холмистых ландшафтах с присущими им региональными и местными климатическими, геоморфологическими, гидрологическими и педологическими условиями. В связи с этим виноградники являются сложными, но чрезвычайно интересными объектами исследования с точки зрения изучения накопления и миграционных потоков вещества от автономных к подчиненным элементарным ландшафтам по геохимическим сопряжениям в условиях комбинаторного действия природных и агрогенных факторов.

Многолетнее выращивание винограда на склонах различной крутизны, экспозиции, формы и протяженности с применением механизированных операций по уходу за почвой и растениями, многочисленных обработок пестицидами и агрохимикатами оказывают влияние на миграционно-аккумулятивные процессы в различных компонентах агроландшафта, и прежде всего – в почве. В этой связи применение ландшафтного подхода к эколого-геохимическим исследованиям в ампелоценозах позволяет объективно выявить качественные и количественные характеристики миграционных процессов и концентрации загрязняющих веществ в почве и, как следствие, связанные с ними экологические риски для сопредельных сред и производства экологически безопасной продукции виноградарства и виноделия [1, 2].

Основным источником загрязняющих веществ, поступающих в почвы при возделывании винограда, являются неорганические и органические пестициды. История применения в ампелоценозах металлосодержащих препаратов для химической борьбы с вредными организмами насчитывает около полутора сотен лет с того момента, когда были открыты защитные свойства меди, мышьяка, ртути. В середине XX в. масштабы применения медьсодержащих пестицидов в садовых плантационных экосистемах в мире достигли огромных размеров, и они не потеряли актуальности до сих пор. Из-за высокой эффективности, дешевизны и относительной малотоксичности для теплокровных животных и человека альтернатив медьсодержащим фунгицидам не нашлось даже в органическом земледелии, где эти препараты разрешено использовать с ограничением в дозировке на единицу площади. Металлы также входят в состав пестицидов нового поколения, например, некоторых дитиокарбаматов.

Многолетнее поступление в почву виноградников меди и других тяжелых металлов привело к их интенсивному накоплению в верхней части профиля почв, в особенности исторических винодельческих регионов, что отмечается во многих исследованиях [3, 4]. Из сообщений о концентрациях меди в верхних горизонтах почв виноградников, в основном на европейском, австралийском и южноамериканском континентах, можно сделать вывод, что содержание металла в ампелоценозах находится в диапазоне от 100 до 1500 мг/кг, причем наибольшие концентрации установлены для самой верхней части почвенного профиля [5, 6, 7]. В опубликованных за последние годы работах, главным образом, зарубежных авторов, можно встретить мнение о том, что медь в поверхностных горизонтах почвы ампелоценозов не угрожает качеству урожая, поскольку, с одной стороны, обладает низкой подвижностью, а с другой стороны, зона всасывания корневой системы растений винограда располагается гораздо глубже. Также некоторые авторы подчеркивают, что, даже поступив в растение, медь практически не достигает ягод и дезактивируется на уровне корня и стебля. Таким образом, несмотря на видимую очевидность и проработанность проблемы накопления меди в почве виноградников, наличие дискуссионных вопросов показывает необходимость в дополнительных сведениях о параметрах накопления меди в почве и растениях, тем более что на этот процесс оказывает влияние множество факторов – климатических, химических, эдафогенных, орографических. Также мало исследований такого рода проводится на возрастных виноградниках и в условиях склонового ландшафта, усиливающего миграционные процессы [5, 6, 7, 8, 12, 13]. **В связи с этим цель исследований** состояла в эколого-геохимической оценке накопления тяжелых металлов в почве путем анализа их латерального распределения и миграции в ряду сопряженных элементарных ландшафтов, а также поступления в продукцию виноградарства, на примере 15-летнего и 100-летнего ампелоценозов горной гряды Фрушка гора Автономного края Воеводина Республики Сербия.

Методика исследований

Исследования проводились на винограднике частного винодельческого хозяйства, расположенного в восточной части горной гряды Фрушка гора (Правобережье Дуная) в Автономном крае Воеводина Республики Сербия (рис. 1). Климат района исследования умеренно-континентальный, влажный и мягкий. Среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляет 11,8°C, среднегодовое количество осадков – 764 мм, за вегетационный период выпадает 431 мм (56,4% от среднегодового). Недостаток влаги в почве наблюдается в августе и сентябре, избыток влаги – с декабря по апрель со средней вероятностью появления плювиальной эрозии [8].

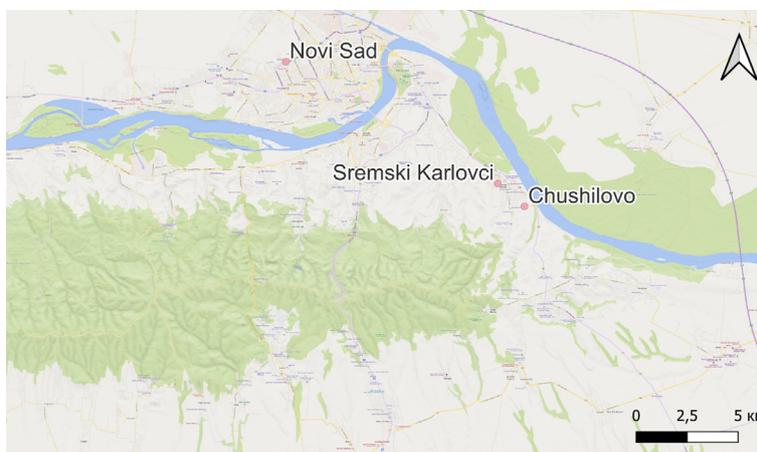


Рис. 1. Картограмма расположения региона исследования и винодельческого хозяйства у сельского поселения Чушилово (QGIS3.34, масштаб: 1:25000)

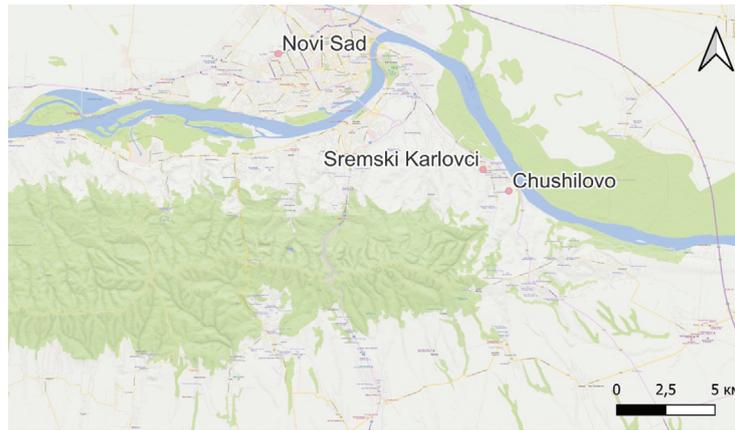


Fig. 1. Location map of the study area and winery near Chushilovo rural settlement of (QGIS3.34, scale: 1:25000)

Объектами исследования выступили бурые лесные остаточно-карбонатные (Eutric Cambisols, FAO (1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB (2006) почвы в условиях склонового ландшафта Среднедунайской возвышенности (рис. 2). Традиционное название этих почв в Сербии – *gajnjača*. Это среднесуглинистая почва с благоприятным водным и воздушным режимом, традиционно используемая под сады и виноградники.

Информация об особенностях расположения ампелоценозов в ландшафте, возрасте и сорте культивируемых насаждений представлена в таблице 1.

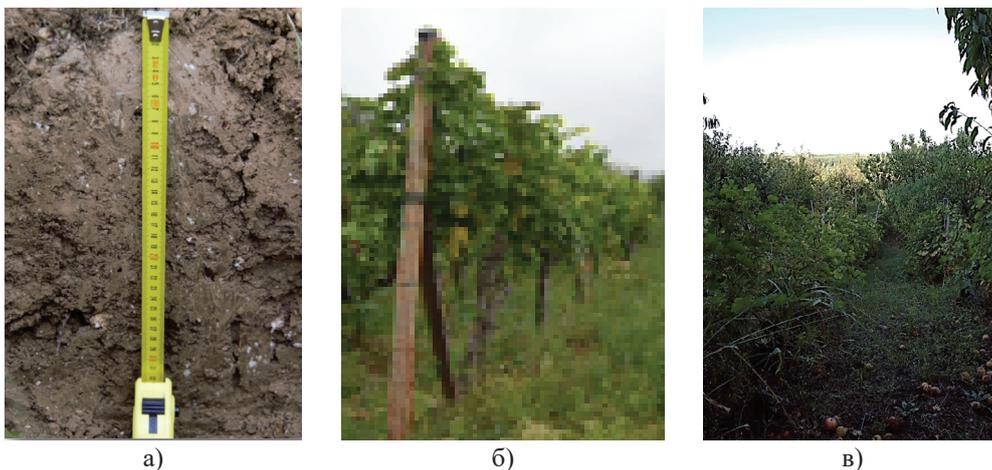


Рис. 2. Бурая лесная остаточно-карбонатная почва (Eutric Cambisols, FAO, 1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB, 2006) в винодельческом хозяйстве у сельского поселения Чушилово (а); 15-летний виноградник, размещенный на склоне северной экспозиции (б); 100-летний виноградник, размещенный на склоне восточной экспозиции (в)

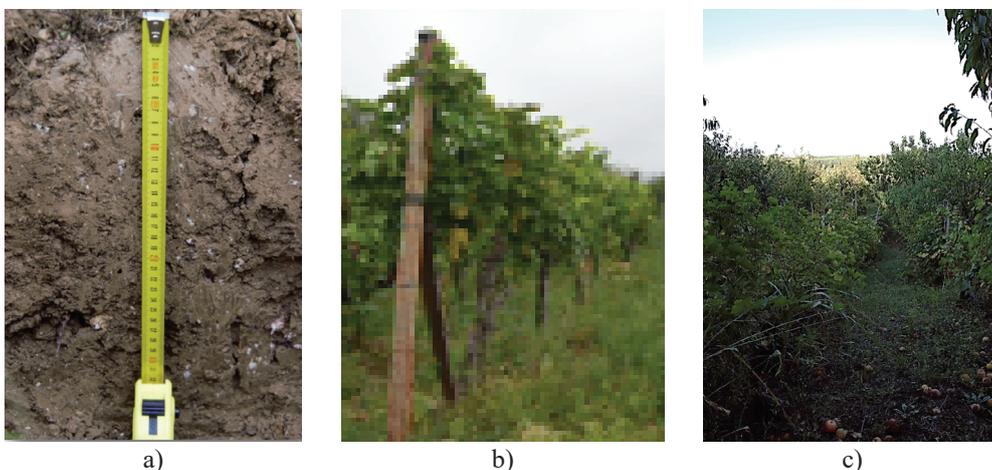


Fig. 2. Brown forest residual-calcareous soil (Eutric Cambisols, FAO, 1988), Haplic Cambisols Calcaric, WRB, 2006) in a winery near Chushilovo rural settlement of (a); 15-year-old vineyard placed on a slope of northern exposure (b); 100-year-old vineyard placed on a slope of eastern exposure (c)

Таблица 1

Характеристика исследуемых разновозрастных ампелоценозов и их положение в ландшафте

Виноградник				Склон		
Местоположение	Система ведения куста	Возраст, лет	Сорт	Экспозиция	Крутизна, град.	Протяженность, м
г. Сремски Карловци, сельское поселение Чушилово	Вертикальная шпалера	100	Мерло	Восточная	5-8	27
		15		Северная	3	41

Table 1

Characteristics of the studied different-aged ampelocoenoses and their position in the landscape

Vineyard				Slope		
Location	Shrub management system	Age, years	Variety	Exposure	Steepness, deg.	Length, m
t. Sremski Karlovci, Chushilovo rural settlement	Vertical trellis	100	Merlot	Eastern	5-8	27
		15		Northern	3	41

Рассматриваемое винодельческое хозяйство практикует традиционную шпалерно-рядовую систему ведения куста с задерненными междурядьями с применением химической системы защиты растений. Винограднику, расположенному на склоне северной экспозиции, – 15 лет, винограднику на склоне восточной экспозиции – более 100 лет, причем последние 40 лет данный виноградник был выведен из эксплуатации, обработку пестицидами и надлежащий уход за насаждениями владелец не осуществлял.

Отбор почвенных проб производили в рядах винограда в пределах сопряженных транзитных ландшафтов склонов по М.А. Глазовской (2002): трансэлювиального (верхняя T_1^3 и средняя T_2^3 части склона), и трансэлювиально-аккумулятивного (трансаккумулятивного) (нижняя T^{3a} часть склона).

Точечные почвенные пробы отбирали почвенным буром методом конверта с глубины 0-5, 5-15 и 15-30 см в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017, из 5 точечных проб получали объединенную пробу. Пробоподготовку почвенных проб выполняли в соответствии с ГОСТ ISO 11464-2015. Отобранные ягоды винограда высушивали и размалывали. Образцы почвы и ягод подвергали микроволновому разложению по методикам, соответственно, № DG-EN-CCS-90 и № DF-FO-CCS-81 с использованием системы пробоподготовки Milestone ETHOS UP согласно рекомендациям компании «Milestone Srl» № MA182-001. Валовое содержание тяжелых металлов в полученных вытяжках определяли атомно-абсорбционным методом согласно Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [9].

Для характеристики пространственной (субгоризонтальной) неоднородности распределения тяжелых металлов в транзитном ландшафте был использован коэффициент латеральной дифференциации (L). Данный коэффициент характеризует латеральную миграцию химических веществ в почвах, связанных едиными потоками влаги, которая перемещается по рельефу сверху вниз под действием силы тяжести. В исследованиях проводили сравнение между концентрацией металла в почве средней и нижней частей склона (соответственно трансэлювиальной и трансаккумулятивной фаций геохимического ландшафта) по отношению к верхней части склона. Коэффициент латеральной дифференциации L тяжелых металлов в почве сопряженных элементов трансэлювиального геохимического ландшафта определяли по формуле:

$$L = \frac{Lx(\text{подч.})}{Lx(\text{верх.})},$$

где $Lx(\text{подч.})$ – концентрация тяжелых металлов в подчиненном элементарном геохимическом ландшафте (фации средней части склона T_2^3 или фации нижней части склона T^{3a}); $Lx(\text{верх.})$ – концентрация тяжелых металлов в фации верхней части склона трансэлювиального T_1^3 геохимического ландшафта.

При анализе латеральной миграции тяжелых металлов в фациях транзитного ландшафта использовали следующие диапазоны значений коэффициента латеральной дифференциации L: более 1,7 – высокое накопление элемента; 1,1-1,6 – накопление средней силы; 0,6-0,9 – незначительный вынос элементов; менее 0,5 – интенсивный вынос.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программ RStudio и Statistica.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые виноградники возрастом 15 и 100 лет располагались в одной локации, однако отличались характеристиками склона: экспозицией, крутизной, протяженностью и формой. Данные по валовому содержанию меди, марганца, хрома, железа и кобальта в бурой лесной остаточно-карбонатной почве 15-летнего ампелоценоза в разных фациях геохимического ландшафта (верхняя, средняя и нижняя части склона) представлены в таблице 2, заброшенного 100-летнего – в таблице 3. В таблице 4 приведены значения коэффициента латеральной дифференциации в транзитном ландшафте для обоих рассматриваемых ампелоценозов.

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов в почве 15-летнего виноградника у сельского поселения Чушилово

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₁ ^э	0-5	60,7	68,3	44,8	235,0	16,4
	5-15	53,4	57,0	34,3	267,6	13,0
	15-30	49,5	49,3	23,4	289,4	10,1
T ₂ ^э	0-5	72,7	70,1	46,8	280,3	15,0
	5-15	71,7	71,9	47,9	280,5	16,3
	15-30	71,5	72,6	49,2	273,6	18,1
T ^{эа}	0-5	87,4	73,5	49,2	301,3	15,4
	5-15	92,1	68,4	51,3	295,3	12,9
	15-30	93,2	65,0	50,3	291,1	9,9

Table 2

Gross content of heavy metals in the soil of a 15-year-old vineyard near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₁ ^э	0-5	60.7	68.3	44.8	235.0	16.4
	5-15	53.4	57.0	34.3	267.6	13.0
	15-30	49.5	49.3	23.4	289.4	10.1
T ₂ ^э	0-5	72.7	70.1	46.8	280.3	15.0
	5-15	71.7	71.9	47.9	280.5	16.3
	15-30	71.5	72.6	49.2	273.6	18.1
T ^{эа}	0-5	87.4	73.5	49.2	301.3	15.4
	5-15	92.1	68.4	51.3	295.3	12.9
	15-30	93.2	65.0	50.3	291.1	9.9

Особый интерес представляют данные по содержанию меди и ее распределению в верхней части (0-30 см) профиля почвы геохимически сопряженных элементарных ландшафтов ампелоценозов в связи с практикуемыми в настоящее время на склоне северной экспозиции и проводившимися более 40 лет назад на склоне восточной экспозиции обработками медьсодержащими фунгицидами. Содержание элемента варьировало в зависимости от глубины профиля и типа элементарного ландшафта, а также наблюдались существенные отличия по содержанию меди в почве под современным виноградником на склоне северной экспозиции и возрастным виноградником на склоне восточной экспозиции.

Накопление меди в почве под 100-летним виноградником в верхней части склона в горизонтах 0-5 и 5-15 см составило соответственно 90,2 и 78,7 мг/кг, что в 1,5 раза выше, чем в аналогичных горизонтах почвы под 15-летним виноградником. В средней части склона также наблюдалось достоверное, согласно критерию Краскела-Уоллиса, превышение накопления меди в верхней части профиля почвы заброшенного ампелоценоза в 1,3-1,6 раза по сравнению с современным (рис. 3). Тенденцию большего накопления меди в возрастных виноградниках по сравнению с молодыми отмечали также другие авторы [6].

Необходимо отметить, что значения содержания меди в почве средней части склона в 100-летнем винограднике превысили значения максимально допустимого количества (МДК) для среднесуглинистых почв, установленного в Республике Сербия [10], на 7, 28 и 27% соответственно в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см.

Показатель МДК по содержанию меди был также превышен в почве нижней части склона, на котором размещался 15-летний виноградник, на 2 и 4% в горизонтах 5-15 и 15-30 см. С одной стороны, это свидетельствует о наличии последствий применения медьсодержащих пестицидов спустя десятки лет после окончания эксплуатации виноградника, а с другой стороны, указывает на то, что близкие к критическим значения валового содержания меди в верхних горизонтах почвы могут быть достигнуты и за более короткий срок возделывания данной культуры, в данном случае – за 15 лет, что даже меньше срока в 20-25 лет после закладки виноградника, указанного в работе Е.Я. Зеленской [11].

В результате исследований, проведенных Komárek et al. (2008) в Чешской Республике, наибольшие концентрации меди были обнаружены в почве заброшенных виноградников мелких производителей вина, что дает авторам основание рекомендовать тщательное изучение вопроса о перепрофилировании почв под бывшими виноградными насаждениями для выращивания других культур [12]. К такому же выводу приходят Vázquez-Blanco et al. (2022), которые установили, что валовое содержание меди в заброшенном винограднике было выше, чем в действующем, на глубине 10-15 см [13].

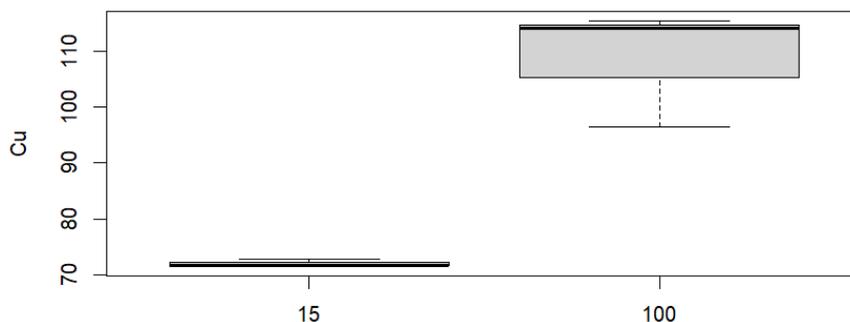


Рис. 3. Содержание меди в почве трансэлювиальной фации геохимического ландшафта (средней части склона) под 15- и 100-летним виноградниками у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса ($p = 0,049$)

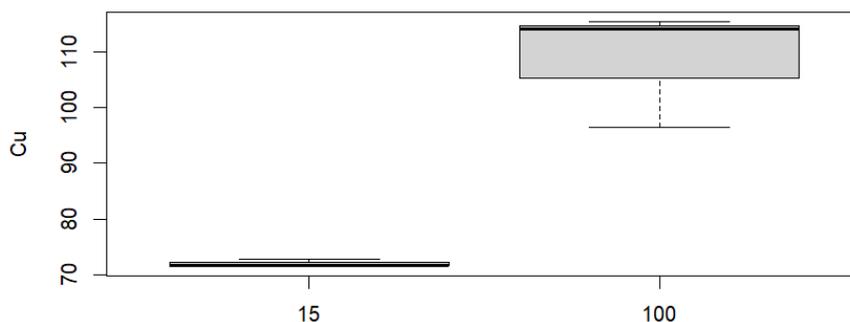


Fig. 3. Copper content in soil of trans-eluvial facies of geochemical landscape (middle part of the slope) under 15- and 100-year old vineyards near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion ($p=0.049$)

Таблица 3

**Валовое содержание тяжелых металлов в почве 100-летнего виноградника
у сельского поселения Чушилово**

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
Т ₁ ^э	0-5	90,2	57,8	59,3	243,4	9,8
	5-15	78,7	66,2	38,9	274,1	10,6
	15-30	35,5	72,8	18,4	312,7	14,2
Т ₂ ^э	0-5	96,4	55,9	38,9	226,9	5,3
	5-15	115,4	71,6	48,1	289,1	12,6
	15-30	114,1	69,2	43,5	317,5	15,8
Т ^{эа}	0-5	53,7	53,1	33,2	268,4	8,1
	5-15	45,6	60,9	31,8	283,3	10,3
	15-30	41,1	69,4	24,0	294,5	11,4

Table 3

Gross content of heavy metals in the soil of a 100-year-old vineyard near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
Т ₁ ^е	0-5	90.2	57.8	59.3	243.4	9.8
	5-15	78.7	66.2	38.9	274.1	10.6
	15-30	35.5	72.8	18.4	312.7	14.2
Т ₂ ^е	0-5	96.4	55.9	38.9	226.9	5.3
	5-15	115.4	71.6	48.1	289.1	12.6
	15-30	114.1	69.2	43.5	317.5	15.8
Т ^{еа}	0-5	53.7	53.1	33.2	268.4	8.1
	5-15	45.6	60.9	31.8	283.3	10.3
	15-30	41.1	69.4	24.0	294.5	11.4

Содержание в почве марганца в рассматриваемых ампелоценозах варьировало в близких диапазонах 49,3-73,5 мг/кг и 53,1-72,8 мг/кг в 15-летнем и 100-летнем виноградниках соответственно, однако характер распределения элемента по горизонтам был разным. В молодом винограднике марганец концентрировался в верхнем слое почвы 0-5 см, и его содержание уменьшалось с глубиной либо изменения в содержании элемента в верхних горизонтах были недостоверными. В 100-летнем винограднике прослеживалась общая тенденция повышения содержания марганца от горизонта 0-5 см к 15-30 см во всех фациях транзитного ландшафта (рис. 4).

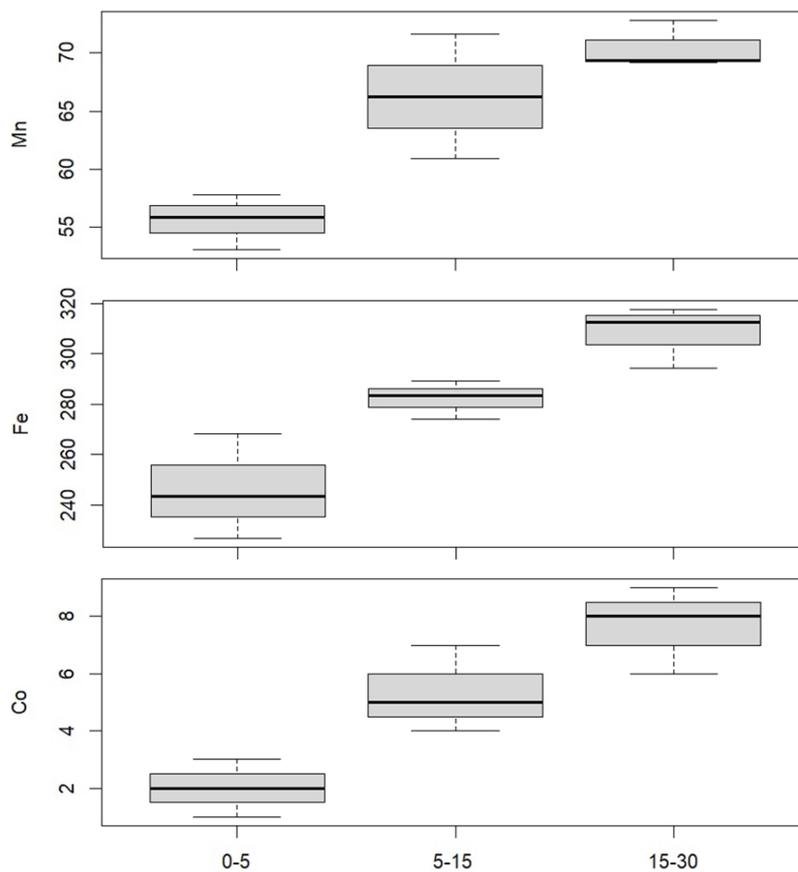


Рис. 4. Содержание марганца ($p = 0,051$), железа ($p = 0,027$) и кобальта ($p = 0,039$) в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см почвы 100-летнего ампелоценоза у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

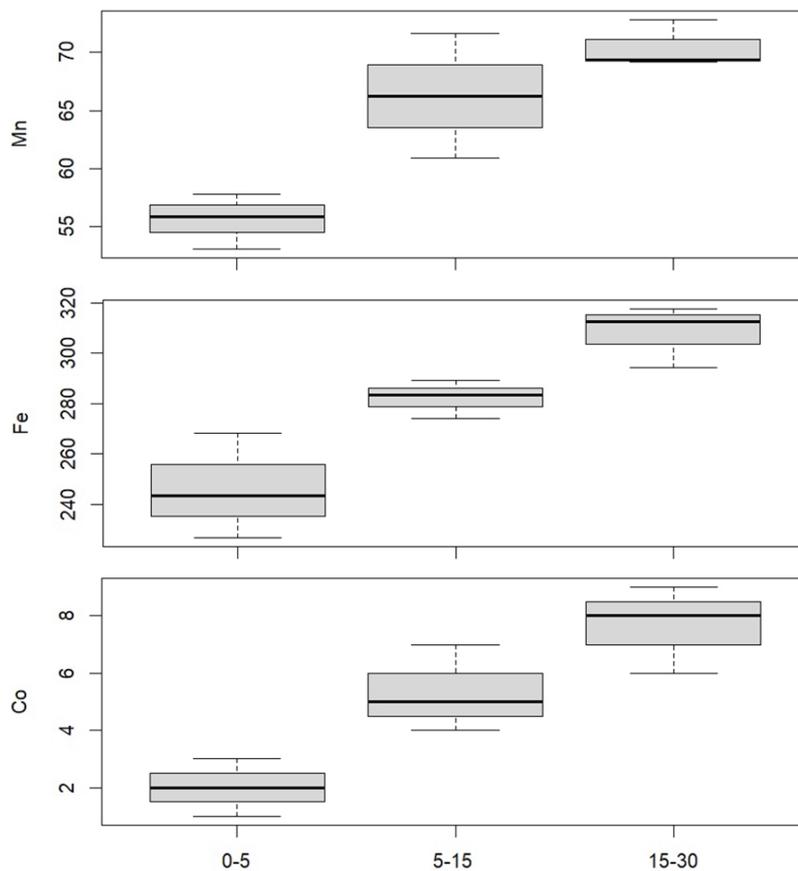


Fig. 4. Content of manganese ($p=0.051$), iron ($p=0.027$) and cobalt ($p=0.039$) in horizons 0-5, 5-15 and 15-30 cm of soil of 100-year-old ampelocoenosis near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

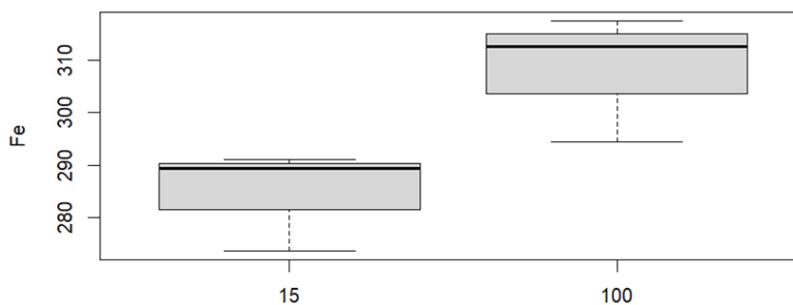


Рис. 5. Содержание железа ($p = 0,049$) в горизонте 15-30 см почвы 15- и 100-летних ампелоценозов у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

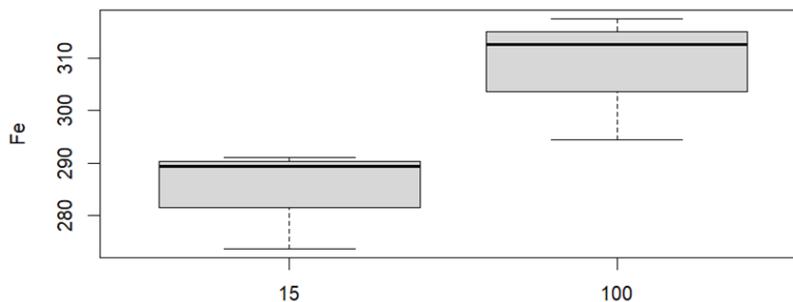


Fig. 5. Content of iron ($p=0.049$) in the 15-30 cm horizon of the soil of 15- and 100-year-old ampelocoenoses near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

Содержание хрома в почве виноградника северной экспозиции незначительно варьировало в средней и нижней частях склона в пределах от 46,8 до 51,3 мг/кг во всех рассматриваемых горизонтах и почти вдвое снижалось в T_1^3 фации от поверхностного горизонта к горизонту 15-30 см.

В возрастном винограднике наблюдалась та же тенденция снижения накопления хрома от горизонта 0-5 см к 15-30 см в почве верхней части склона более чем в 3 раза, в T_2^3 и T^{3a} фациях содержание элемента в целом было ниже, чем в почве 15-летнего ампелоценоза, без особенностей в распределении по верхней части профиля.

Достоверное снижение с глубиной содержания железа отмечалось в почве T_1^3 фации молодого ампелоценоза и достоверно не менялось в средней и нижней частях склона, варьируя в диапазонах от 273,6 до 301,3 мг/кг. Распределение железа по склону характеризовалось постепенным, невыраженным нарастанием его содержания от T_1^3 фации до T^{3a} фации в 1,3 и 1,1 раза в горизонтах 0-5 и 5-15 см соответственно. На глубине 15-30 см различия в накоплении железа по склону оказались несущественными. В 100-летнем винограднике во всех изученных фациях прослеживалась тенденция накопления железа по профилю почвы в горизонте 15-30 см в 1,1-1,4 раза по сравнению с горизонтами 0-5 и 5-15 см (рис. 5).

В почве 15-летнего виноградника содержание кобальта варьировало в диапазоне 9,9-18,1 мг/кг, в 100-летнем – в диапазоне 5,3-15,8 мг/кг. В отличие от молодого ампелоценоза содержание кобальта в почве заброшенного виноградника во всех частях склона снижалось в 1,4-3 раза от поверхностного горизонта до глубины 15-30 см аналогично отмеченному выше распределению в верхней части профиля железа и марганца (рис. 6).

Согласно рассчитанным значениям коэффициента латеральной дифференциации установлена относительно высокая активность миграции меди, марганца и хрома в трансэлювиальной и трансэлювиально-аккумулятивной фациях геохимического ландшафта под 15-летним виноградником (табл. 4). Для трансэлювиальной фации в средней части склона в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см отмечалось накопление меди, марганца, хрома и железа средней силы ($L = 1,03-1,20$; $1,05-1,40$ и $1,44-1,79$ соответственно) и высокое накопление хрома в горизонте 15-30 см. В условиях трансэлювиально-аккумулятивной фации в нижней части склона наблюдалось высокое накопление меди в горизонтах 5-15 и 15-30 см ($L = 1,72$ и $1,88$ соответственно) и хрома – в горизонте 15-30 см, слабая аккумуляция марганца ($L = 1,08-1,32$), железа ($L = 1,01-1,28$) и вынос кобальта ($L = 0,94-0,99$). При этом распределение по склону геохимического ландшафта меди и хрома в почве молодого ампелоценоза отличалось статистической значимостью ($p = 0,027$ и $0,032$ соответственно) (рис. 7).

Распределение меди, марганца и хрома в латеральной структуре элементарных ландшафтов указывает на возрастание содержания элементов к понижению рельефа, что соответствует восходящему виду геохимической структуры. Железо и кобальт распределялись по профилю склона относительно равномерно.

В 100-летнем винограднике активность миграции и распределение по склону и профилю почвы изученных металлов отличались от таковых в молодом винограднике. Прежде всего следует отметить очень высокую величину накопления меди в трансэлювиальной фации средней части склона, которая возрастала в 1,4 и 3 раза от поверхностного слоя почвы ($L = 1,07$) к горизонтам 5-15 см ($L = 1,47$) и 15-30 см ($L = 3,21$) соответственно. Тот же характер накопления и распределения по профилю был отмечен для хрома и кобальта в средней части склона, но с меньшими значениями L (1,24 и 2,36; 1,19 и 1,11 соответственно в горизонтах 5-15 см и 15-30 см).

Таблица 4

Коэффициенты латеральной дифференциации (L) транзитного ландшафта под 15-летним (числитель) и 100-летним (знаменатель) виноградниками у сельского поселения Чушилово

Тип элементарного ландшафта	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₂ ^a	0-5	$\frac{1,20}{1,07}$	$\frac{1,03}{0,97}$	$\frac{1,04}{0,66}$	$\frac{1,19}{0,93}$	$\frac{0,91}{0,54}$
	5-15	$\frac{1,34}{1,47}$	$\frac{1,26}{1,08}$	$\frac{1,40}{1,24}$	$\frac{1,05}{1,05}$	$\frac{1,25}{1,19}$
	15-30	$\frac{1,44}{3,21}$	$\frac{1,47}{0,95}$	$\frac{2,10}{2,36}$	$\frac{0,95}{1,02}$	$\frac{1,79}{1,11}$
T _{2a} ^a	0-5	$\frac{1,44}{0,60}$	$\frac{1,08}{0,92}$	$\frac{1,10}{0,56}$	$\frac{1,28}{1,10}$	$\frac{0,94}{0,83}$
	5-15	$\frac{1,72}{0,58}$	$\frac{1,20}{0,92}$	$\frac{1,50}{0,82}$	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{0,99}{0,97}$
	15-30	$\frac{1,88}{1,16}$	$\frac{1,32}{0,95}$	$\frac{2,15}{1,30}$	$\frac{1,01}{0,94}$	$\frac{0,98}{0,80}$

Table 4

Lateral differentiation coefficients (L) of the transit landscape under 15-year (numerator) and 100-year (denominator) vineyards near Chushilovo rural settlement

Elemental landscape type	Depth, cm	Heavy metals, mg/kg				
		Cu	Mn	Cr	Fe	Co
T ₂ ^c	0-5	$\frac{1,20}{1,07}$	$\frac{1,03}{0,97}$	$\frac{1,04}{0,66}$	$\frac{1,19}{0,93}$	$\frac{0,91}{0,54}$
	5-15	$\frac{1,34}{1,47}$	$\frac{1,26}{1,08}$	$\frac{1,40}{1,24}$	$\frac{1,05}{1,05}$	$\frac{1,25}{1,19}$
	15-30	$\frac{1,44}{3,21}$	$\frac{1,47}{0,95}$	$\frac{2,10}{2,36}$	$\frac{0,95}{1,02}$	$\frac{1,79}{1,11}$
T _{2a} ^c	0-5	$\frac{1,44}{0,60}$	$\frac{1,08}{0,92}$	$\frac{1,10}{0,56}$	$\frac{1,28}{1,10}$	$\frac{0,94}{0,83}$
	5-15	$\frac{1,72}{0,58}$	$\frac{1,20}{0,92}$	$\frac{1,50}{0,82}$	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{0,99}{0,97}$
	15-30	$\frac{1,88}{1,16}$	$\frac{1,32}{0,95}$	$\frac{2,15}{1,30}$	$\frac{1,01}{0,94}$	$\frac{0,98}{0,80}$

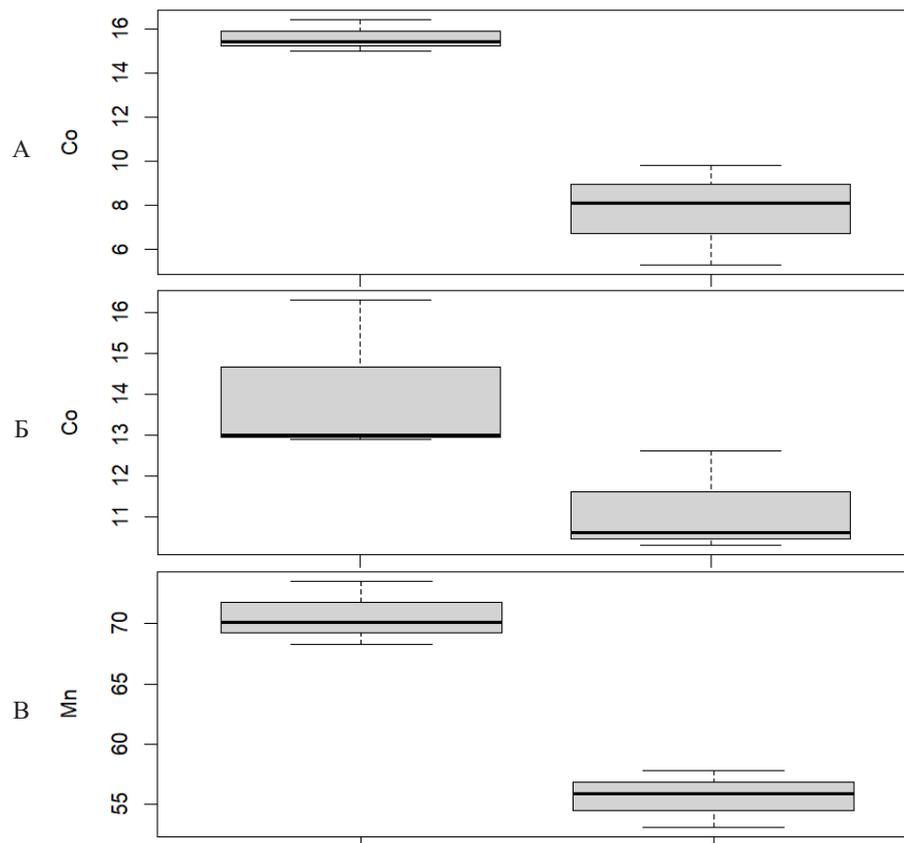


Рис. 6. Содержание кобальта ($p = 0,049$) в горизонтах 0-5 см (А), 5-15 см (Б) и марганца в горизонте 0-5 см (В) почвы 15- и 100-летних ампелоценозов у сельского поселения Чушилово согласно критерию Краскела-Уоллиса

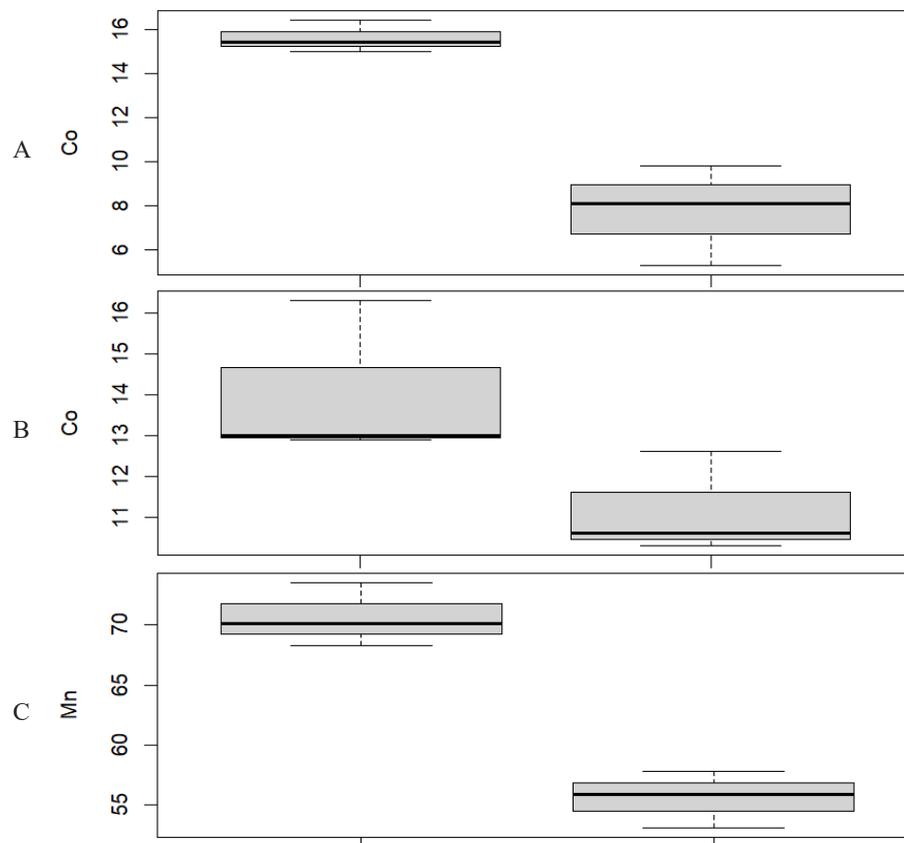


Fig. 6. Content of cobalt ($p=0.049$) in 0-5 cm horizons (A), 5-15 cm horizons (B) and manganese content in 0-5 cm horizon (C) of soil of 15- and 100-year-old ampelocenoses near Chushilovo rural settlement according to the Kraskell-Wallis criterion

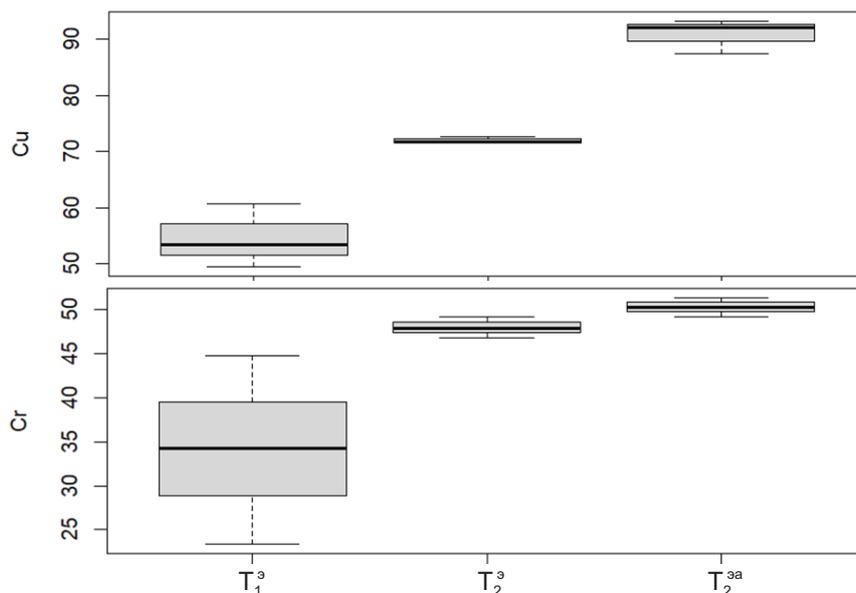


Рис. 7. Распределение меди (Cu) ($p = 0,027$) и хрома (Cr) ($p = 0,032$) в пределах транзитного ландшафта склона северной экспозиции под 15-летним виноградником ($p = 0,027$).

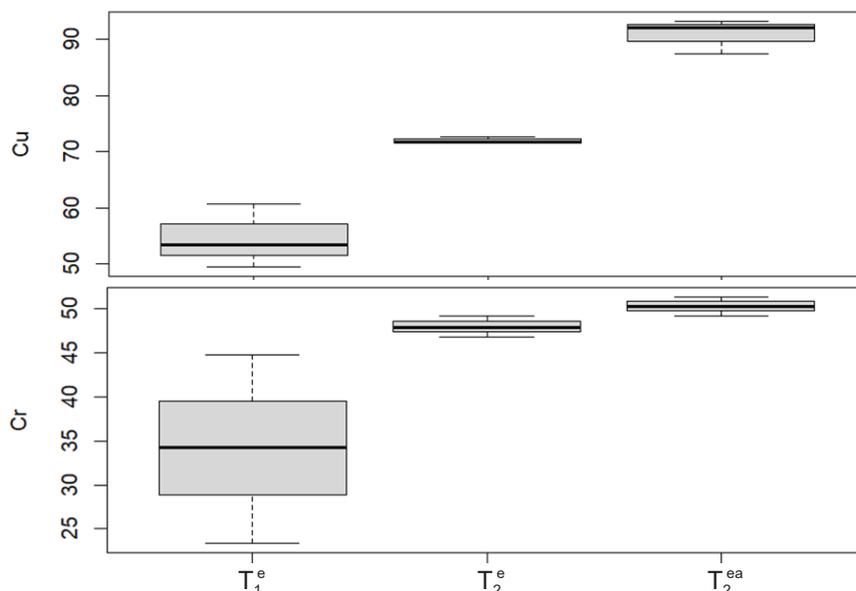


Fig. 7. Distribution of copper (Cu) ($p=0.027$) and chromium (Cr) ($p=0.032$) within the transit landscape of a north-exposure slope under a 15-year-old vineyard ($p=0.027$)

Аккумуляцию меди, хрома и кобальта в средней части склона заброшенного виноградника можно объяснить сложной формой склона, сочетающего несколько склоновых ландшафтных микрозон с чередованием процессов активного смыва и аккумуляции.

В отличие от современного виноградника, где наибольшая величина накопления меди наблюдалась в горизонте 15-30 см нижней части склона, низкие значения L в трансаккумулятивной фации 100-летнего виноградника (0,58-0,60) свидетельствуют о выносе данного элемента из горизонтов 0-5 и 5-15 см и о его слабом накоплении в горизонте 15-30 см ($L = 1,16$). То же относится к марганцу и железу, распределение которых по склону носило относительно равномерный характер без выраженных накопления и выноса ($L = 0,92-1,08$ и $0,93-1,10$ соответственно).

Определение уровня накопления меди в ягодах винограда позволило оценить ее миграцию в системе «Почва-растение» и установить потенциальный уровень риска для продукции виноградарства и виноделия. По данным таблицы 5, содержание меди в ягодах 15-летнего и 100-летнего виноградника составило соответственно 1,7-2,8 и 2,0-7,7 мг/кг с максимальной аккумуляцией элемента в ягодах старого виноградника, выращиваемого в нижней части склона. Следует отметить, что в поверхностном слое почвы $O^{\text{в}}_{\text{а}}$ фации данного ампелоценоза было установлено наименьшее содержание меди, которое в 1,7-2,7 раза ниже, чем в почве трансэлювиальных фаций, расположенных выше по склону. С учетом того, что поступления

агрогенной меди на данном участке за последние 40 лет не было, обеднение верхней части профиля почвы медью могло произойти за счет ее радиальной миграции в нижележащие горизонты почвы с нисходящим током воды во влажный период года с октября по март в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта, где элемент извлекался глубокой корневой системой старой лозы. Вероятность такой транслокации на глубинах от 200 до 650 см почвы в отношении меди, никеля, цинка и кобальта отмечалась и для винодельческих районов Крымского полуострова [11].

Установленное в исследованиях максимальное содержание меди в ягодах 100-летнего виноградника на уровне 7,7 мг/кг не превышало максимально допустимый уровень, принятый в Республике Сербия, составляющий 40 мг/кг [14]. В Российской Федерации установлен восьмикратно более строгий, чем в Сербии, максимально допустимый уровень меди в ягодах винограда на уровне 5 мг/кг [15], в сравнении с которым превышение по содержанию меди в ягодах 100-летнего виноградника составило 54%. В результате проведения эколого-геохимических исследований в пяти винодельческих регионах Крыма обнаружено, что содержание меди в золе ягод винограда составляло менее 0,1%, что дает авторам основание сделать предположение об удержании поглощенного элемента другими частями винограда [16].

Таким образом, проведенные исследования опровергают мнение о том, что медь в ягодах винограда практически не накапливается, и проблема ее поступления в пищевые цепи в ампелоценозах переоценена.

Таблица 5

Содержание меди в ягодах винограда в зависимости от возраста и части склона у сельского поселения Чушилово

Возраст виноградника, лет	Тип элементарного ландшафта		
	T ₁ ^o	T ₂ ^o	T ^{ca}
15	2,7	2,8	1,7
100	2,0	3,7	7,7

Table 5

Copper content in grape berries depending on age and part of the slope near Chushilovo rural settlement

Vineyard age, years	Elemental landscape type		
	T ₁ ^e	T ₂ ^e	T ^{ca}
15	2.7	2.8	1.7
100	2.0	3.7	7.7

Выводы

1. Результаты исследований на бурой лесной остаточно-карбонатной почве под современным 15-летним и заброшенным в последние 40 лет 100-летним виноградником, возделываемыми на склонах горной гряды Фрушка гора в Автономном крае Воеводина Республики Сербия, показали наличие определенных достоверных зависимостей между валовым содержанием тяжелых металлов (меди, марганца, хрома, железа и кобальта) в почве и возрастом виноградника, его расположения в транзитном геохимическом ландшафте и глубины почвенного профиля в пределах его верхней части мощностью 30 см.

2. Установлена высокая интенсивность миграции меди и хрома в трансэлювиальной и трансаккумулятивной фациях транзитного геохимического ландшафта под 15-летним виноградником с усилением в горизонте 15-30 см согласно коэффициенту латеральной дифференциации (1,44 и 1,88; 2,10-2,15 соответственно).

3. В отличие от современного виноградника в почве заброшенного виноградника радиальная миграция вниз в пределах верхней части почвенного профиля 0-30 см преобладала над латеральной, чему способствовала сложная ступенчатая форма склона с чередованием трансэлювиальных и трансаккумулятивных склоновых ландшафтных микрзон. Установлено статистически значимое повышение накопления марганца, железа и кобальта от поверхностного горизонта 0-5 см к горизонту 15-30 см.

4. В 100-летнем заброшенном ампелоценозе наблюдалось интенсивное накопление меди (114,1-115,4 мг/кг) в почве средней части склона в горизонтах 5-15 см и 15-30 см со значениями коэффициента латеральной дифференциации соответственно 1,47 и 3,21, что свидетельствует об эффекте

последствия применения медьсодержащих пестицидов спустя десятки лет после окончания эксплуатации виноградника. При этом содержание меди в почве превышало значение максимально допустимого количества (МДК), установленного для среднесуглинистых почв в Республике Сербия, на 7, 28 и 27% в горизонтах 0-5, 5-15 и 15-30 см соответственно. К величине МДК приближалось также содержание меди в почве нижней части склона, занятого современным виноградником, уровень которого был достигнут за 15 лет возделывания.

5. Содержание меди в ягодах винограда варьировало в диапазоне 1,7-7,7 мг/кг с максимальным накоплением элемента в ягодах 100-летнего виноградника, выращиваемого в нижней части склона, превышающим максимально допустимый уровень меди для ягод винограда, установленный в Российской Федерации, на 54%. Ввиду отсутствия поступления агрогенной меди за последние 40 лет и низкого уровня содержания элемента в почве верхней части профиля можно предположить, что элемент извлекался глубокой корневой системой старой лозы из нижележащих горизонтов почвы, куда медь могла мигрировать с нисходящим током дождевой и талой воды во время влажного сезона с октября по март в условиях трансаккумулятивного элементарного ландшафта.

Список источников

1. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975:341.
2. *Касимов Н.С.* Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013:208.
3. *Lamichhane J.R., Osdaghi E., Behlau F., et al.* Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2018;38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
4. *Brunetto G., Wellington Bastos de Melo G., et al.* Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. *Chemosphere*. 2016;162:293-307. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.104>
5. *Komárek M., Čadková E., Chrastný V., et al.* Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*. 2010;36(1):138-151. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005>
6. *Mackie K.A., Müller T., Kandeler E.* Remediation of copper in vineyards – a mini review. *Environ. Pollut.* 2012;167:16-26. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023>
7. *Flores Velez L., Ducaroir J., Jaunet A.M., et al.* Study of the distribution of copper in an acidic vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*. 1996;47:523-532. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01852>
8. *Babić V., Krstić M.* Climate characteristics of the sessile oak forest belt on Fruška Gora (in Serbian). *Шумарство*. 2014;3-4:49-62.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / под ред. А.М. Артюшина. М.: ЦИ-НАО, 1992:62.
10. Правилник о допунама правилника о унутрашњој организацији и систематизацији радних мјеста у министарству саобраћаја и веза. Службени гласник Републике Српске. 2016. Број 56, 11.7:16.
11. *Зеленская Е.Я.* Биогеохимическая оценка почв и пород в исторических и современных районах виноградарства Крыма: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Белгород, 2022:28.
12. *Komárek M., Száková J., Rohošková M., et al.* Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic.

References

1. *Perel'man A.I.* Geochemistry of landscape [textbook for students of geogr. and geol. specialties of the University]. М.: Vysshaya shkola, 1975:341. (In Rus.)
2. *Kasimov N.S.* Ecogeochimistry of landscapes. М.: IP Filimonov M.V., 2013:208. (In Rus.)
3. *Lamichhane J.R., Osdaghi E., Behlau F. et al.* Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2018;38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
4. *Brunetto G., Wellington Bastos de Melo G. et al.* Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. *Chemosphere*. 2016;162:293-307. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.104>
5. *Komárek M., Čadková E., Chrastný V. et al.* Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*. 2010;36(1):138-151. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005>
6. *Mackie K.A., Müller T., Kandeler E.* Remediation of copper in vineyards – a mini review. *Environ. Pollut.* 2012;167:16-26. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.023>
7. *Flores Velez L., Ducaroir J., Jaunet A.M. et al.* Study of the distribution of copper in an acidic vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*. 1996;47:523-532. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01852>
8. *Babić V., Krstić M.* Climate characteristics of the sessile oak forest belt on Fruška Gora. *Шумарство*. 2014;3-4:49-62. (in Serb.)
9. Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop products. Ed. by A.M. Artyushin. М.: TSINAO, 1992:62. (In Rus.)
10. Rulebook on amendments to the rulebook on Internal Organization and Systematization of Work Objects in the Ministry of Transport and Communications. Службени гласник Републике Српске. 2016;56:11.7:16. (In Serb.)
11. *Zelenskaya E.Ya.* Biogeochemical assessment of soils and rocks in historical and modern viticulture areas of Crimea: CSc (Geog) thesis. Belgorod, 2022:28. (In Rus.)
12. *Komárek M., Száková J., Rohošková M. et al.* Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic.

Geoderma. 2008;147:16-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.07.001>

13. *Vázquez-Blanco R., Nóvoa-Muñoz J.C., Arias-Estévez M., et al.* Changes in Cu accumulation and fractionation along soil depth in acid soils of vineyards and abandoned vineyards (now forests). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022;339:108146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108146>

14. Pravilnik o količinama pesticida, metala I metaloida I drugih otrovnih supstancija, hemioterapeutika, anabolika I drugih supstancija koje se mogu nalaziti u namirnicama (“Sl. list SRJ”, br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i “Sl. glasnik RS”, br. 25/2010 – dr. pravilnik i 28/2011 – dr. pravilnik). – URL: <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-kolicinama-pesticida-metala-metaloida-drugih-otrovnih-supstancija-hemioterapeutika.html> (дата обращения: 23.09.2023).

15. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Зарегистрирован 29.01.2021 № 62296).

16. *Лопина Е.М., Зеленская Е.Я.* Геохимические особенности транслокации элементов в системе «почва-растение» по результатам изучения географических районов виноградарства Крыма. Региональные геосистемы. 2021;45(3):431-440. <https://doi.org/doi 10.52575/2712-7443-2021-45-3-431-440>

Сведения об авторах

Ирина Викторовна Андреева, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0760-665X>

Валерия Вячеславовна Габечая, аспирант, ассистент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lera.gabechaya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5621-6308>

Дмитрий Владимирович Морев, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dmorev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2482-1949>

Евгений Борисович Таллер, канд. с.-х. наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: etallereb@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8372-2209>

Статья поступила в редакцию 25.09.2023
Одобрена после рецензирования 11.11.2023
Принята к публикации 20.11.2023

Geoderma. 2008;147:16-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.07.001>

13. *Vázquez-Blanco R., Nóvoa-Muñoz J.C., Arias-Estévez M. et al.* Changes in Cu accumulation and fractionation along soil depth in acid soils of vineyards and abandoned vineyards (now forests). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022;339:108146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108146>

14. Rulebook on the quantities of pesticides, metals and metalloids and other toxic substances, chemotherapeutics, anabolics and other substances that can be found in foodstuffs («Sl. list SRJ», br. 5/92, 11/92 – ispr. i 32/2002 i «Sl. glasnik RS», br. 25/2010 – dr. pravilnik i 28/2011 – dr. pravilnik). – URL: <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-kolicinama-pesticida-metala-metaloida-drugih-otrovnih-supstancija-hemioterapeutika.html> (Access date: 23.09.2023). (In Serb.)

15. On approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans”. Decree No. 2 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian (reg. 29 January 2021, No. 62296). (In Rus.)

16. *Lopina E.M., Zelenskaya E.Ya.* Geochemical features of the translocation of elements in the “Soil-plant” system based on the results of studying the geographical regions of Crimean viticulture. *Regional Geosystems*. 2021;45(3):431-440. <https://doi.org/doi 10.52575/2712-7443-2021-45-3-431-440> (In Rus.)

Information about the authors

Irina V. Andreeva, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0760-665X>

Valeriya V. Gabechaya, post-graduate student, Assistant of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: lera.gabechaya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5621-6308>

Dmitriy V. Morev, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: dmorev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2482-1949>

Evgeniy B. Taller, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: etallereb@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8372-2209>

The article was submitted to the editorial office 25 Sep 2023
Approved after reviewing 11 Nov 2023
Accepted for publication 20 Nov 2023

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 551.515: 551.578.42(470-25)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-29-36>



**Закономерности формирования снежного покрова
в различных экосистемах города Москвы**

**Мария Васильевна Тихонова, Елена Михайловна Илюшкова,
Александр Иванович Белолобцев, Ярослава Сергеевна Жигалева, Сергей Юрьевич Ермаков,
Алексей Вячеславович Бузылёв, Никита Александрович Александров**

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

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

Аннотация. В статье анализируются показатели снежного покрова за холодный сезон 2022-2023 гг., сформировавшегося в условиях различных природно-антропогенных экосистем на территории города Москвы. Дана сравнительная оценка основных характеристик снежного покрова (высоты, плотности и запасов воды в снеге) на примере лесной экосистемы и агроэкосистемы. Установлено, что на процессы накопления и распределения снега, а также на его характеристики существенное влияние оказывают наличие и видовой состав растительности, температурный и ветровой режим, инсоляция, мезо- и микрорельеф. Снежный покров, сформированный в лесных массивах, отличается максимальной высотой, пониженной плотностью и лучшим утепляющим эффектом почвы по сравнению с открытым пространством.

Ключевые слова: снежный покров, изменение климата, плотность снега, высота снежного покрова, агроэкосистемы Москвы, лесные экосистемы Москвы

Для цитирования: Тихонова М.В., Илюшкова Е.М., Белолобцев А.И., Жигалева Я.С., Ермаков С.Ю., Бузылёв А.В., Александров Н.А. Закономерности формирования снежного покрова в различных экосистемах города Москвы // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 29-36. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-29-36>

© Тихонова М.В., Илюшкова Е.М., Белолобцев А.И., Жигалева Я.С.,
Ермаков С.Ю., Бузылёв А.В., Александров Н.А., 2023

BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-29-36>



Regularities of Snow Cover Formation in Different Ecosystems of Moscow

**Maria V. Tikhonova, Elena M. Iliushkova, Aleksandr I. Belolyubtsev,
Yaroslava S. Zhigaleva, Sergey Yu. Ermakov, Aleksey V. Buzylev, Nikita A. Aleksandrov**

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

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

Abstract. The article analyses the indicators of snow cover for the cold season of 2022-2023, formed under the conditions of different natural and anthropogenic ecosystems in Moscow. A comparative assessment of the main characteristics of the snow cover (height, density and water reserves in the snow) is given on the example of the forest system and the agro-ecosystem. It was found that the processes of snow accumulation and distribution, as well as its characteristics, are significantly influenced by the presence and species composition of vegetation, temperature and wind regime, insolation, meso- and micro-relief. Snow cover formed in forested areas is characterized by maximum height, lower density and better soil insulation compared to open areas.

Keywords: snow cover, climate change, snow density, snow cover height, Moscow agro-ecosystems, Moscow forest ecosystems

For citation: Tikhonova M.V., Iliushkova E.M., Belolyubtsev A.I., Zhigaleva YU.S., Ermakov S. Yu., Buzylev A.V., Aleksandrov N.A. Regularities of Snow Cover Formation in Different Ecosystems of Moscow. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:29-36. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-29-36>

© Tikhonova M.V., Iliushkova E.M., Belolyubtsev A.I., Zhigaleva YU.S.,
Ermakov S. Yu., Buzylev A.V., Aleksandrov N.A., 2023

Введение

Существенные изменения климата не только во многих регионах России, но и во всем мире, становятся одной из главных причин ухудшения экологической обстановки, что в свою очередь приводит к экономическому и социальному дисбалансу.

Глобальное изменение климата – часть мировых преобразований природной среды, обусловленных изменениями в тепловом балансе атмосферы, циркуляции вод океана, солнечной активности и в биогеохимических циклах [1]. Если рассматривать модель глобальной циркуляции атмосферы, можно отметить, что все процессы неоднородны в пространстве и во времени и повышение температуры через ближайшие 30-50 лет в наибольшей степени проявится в Северном полушарии.

Научные исследования в части изменения климата России продемонстрировали, что во второй половине XX в. в Европейской части максимальное увеличение температуры происходило в холодную половину года, тогда как в теплое время изменения были не столь значительными [9]. Подобное повышение средней температуры характерно для Урала и Сибири, где среднегодовая температура повысилась почти на 2°C за последние 100 лет [6].

Проблема изменения климата, его предпосылки и перспективы имеют различные научные точки зрения, которые интенсивно обсуждаются во всем мире [1, 3]. С одной стороны, это проблема является как экономической, так и социальной, причем с высоким риском негативных последствий. С другой стороны, это можно рассматривать как эволюционный процесс, который происходит весьма медленно, что может напоминать климатические колебания: небольшое потепление, которое отмечено в прошлом, может смениться похолоданием примерно в тех же температурных пределах в сходных исторических интервалах [2].

Согласно системе экологического мониторинга отмечается глобальное и региональное потепление, что подтверждается многочисленными факторами, одним из которых является уменьшение снежного покрова и времени его залегания [10].

Мониторинг снежного покрова – важнейший показатель для различных экологических систем, который позволяет контролировать изменения, связанные с климатом, особенно там, где необходимо учитывать использование воды на полив, создание электрической энергии, а также для предотвращения наводнений в весенний период.

В настоящее время существуют различные методы оценки снежного покрова. Большинство исследователей данную группу подразделяют на грунтовые, воздушные, а также комбинированные методы. Грунтовые методы включают в себя измерения толщины снега, его плотности и влажности, а также температуры поверхности почвы. Воздушные методы нацелены на использование спутниковых, аэрофотографических и лазерных технологий. Данная группа методов позволяет разработать точную модель снежного покрова. Одним из наиболее эффективных методов оценки является комбинированный метод, который позволяет использовать одновременно зондирование (оценка толщины снега) и спутниковые данные (площадь и распределение). При использовании комбинированных методов важно учитывать преимущества, недостатки, возможности комбинирования для минимизации ошибок.

Снежный покров – это дополнительный источник питания, увлажнения и теплоизоляции растений, который помогает сохранить жизнеспособность биоты, поддерживать температуру водоемов и участков с разительностью, что делает их устойчивыми к низким температурам. Снежный покров выступает как грунтозащитный слой от размораживания и предотвращает процесс переохлаждения почвенного покрова [11]. Снег – это не только твердые осадки, но и примеси воздуха, минеральные примеси и другие элементы, что в итоге формирует так называемый снежный покров, образующийся в холодное время года на поверхности почвы. Он обладает уникальными свойствами, которые радикально меняются под влиянием внешних антропогенных и климатических факторов. Кроме того, обладает высокой отражательной способностью (альбедо), что значительно меняет теплофизическое состояние земной поверхности. Мощность снежного покрова и его плотность – это важные характеристики, которые определяют его водозпас, влияющий на дальнейшее увлажнение почвы.

Леса – уникальные экосистемы. На территории нашей страны они занимают 1/4 лесного покрова планеты. Леса выполняют функции защиты, стабилизации и балансировки биосферы, которые в свою очередь контролируют и регулируют газовый состав атмосферы, поглощая углекислый газ и являясь основным источником кислорода, необходимого живым существам. Лесные экосистемы улучшают качество воды, оказывают влияние на гидрологический режим водоемов, защищают почву от процессов эрозии [6].

Универсальность лесов оказывает влияние на множество сфер жизни человека, в социальной сфере улучшает состояние здоровья населения, повышает устойчивость агрокультур, находящихся вблизи лесных насаждений, улучшает качество воды и удовлетворяет потребности в источниках энергии в различных экологических, экономических и социальных сценариях. Несмотря на это, результаты последней оценки *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* свидетельствуют о сокращении площади лесов в рамках зон устойчивого их развития и сохранения [4].

Помимо лесных экосистем, весьма важную роль играют и агроэкосистемы. Сельское хозяйство является основой экономики любой страны. Оно дает жизненно необходимую человеку продукцию: основные продукты питания и сырье для выработки предметов потребления; производит свыше 12% валового общественного продукта и более 15% национального дохода России, сосредоточивает 15,7% производственных основных фондов.

На сегодняшний день мы можем наблюдать, как сельское хозяйство России постепенно выходит из затяжного экономического и финансового кризиса. За последние годы в аграрной политике России произошли серьезные изменения благодаря тому, что развитие агропромышленного комплекса отнесено к приоритетным направлениям. Развитие и совершенствование данной отрасли непосредственно связаны с заложением и регулярными мониторинговыми исследованиями длительных полевых опытов.

Длительный полевой опыт (ДПО) – основной метод исследования в агрономии, растениеводстве и земледелии, позволяющий ученым изучить влияние использования различных технологий земледелия на рост и продуктивность растений в агроценозах. Это дает возможность использовать и оценивать различные технологии земледелия, проводить мониторинговые наблюдения за глобальным изменением климата, оценивать и прогнозировать почвенное плодородие и урожайность основных сельскохозяйственных культур [4].

Цель исследований – изучить закономерности формирования снежного покрова в лесных экосистемах и агроэкосистемах, расположенных в пределах города Москвы.

Методика исследований

Исследования по оценке снежного покрова проводились в 2022-2023 гг. на территории Северного округа города Москвы. Первый исследуемый участок, городской лес – Лесная опытная дача (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Второй участок – Длительный полевой опыт имени А.Г. Дояренко РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 1). Контрольные данные измерения снежного покрова определялись в метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и на Полевой станции.

Территория Лесной опытной дачи выступает в качестве объекта лесной экосистемы. Наблюдения осуществлялись на ранее заложённой трансекте протяженностью около 900 м. Пять ключевых участков размеров 50×50 м различаются между собой почвенными характеристиками, расположением в мезорельефе, режимом увлажнения, напочвенно-растительным и древесным покровом, а также уровнем антропогенной нагрузки. Ключевые участки № 1 и № 2 заложены на прямом слабопокатом коротком склоне моренного холма северо-восточной экспозиции: в средней – 2 (ССВ); в нижней части склона – 1 (ПСВ). Участок № 3 расположен на выположенной вершине моренного холма ВМХ и является автоморфной системой с глубоким залеганием грунтовых вод. Участки № 4 и № 5 расположены на противоположном пологом склоне повышенной длины юго-западной экспозиции: в средней и нижней частях склона – слабоогнутой формы (СЮЗ и ПЮЗ) [8].

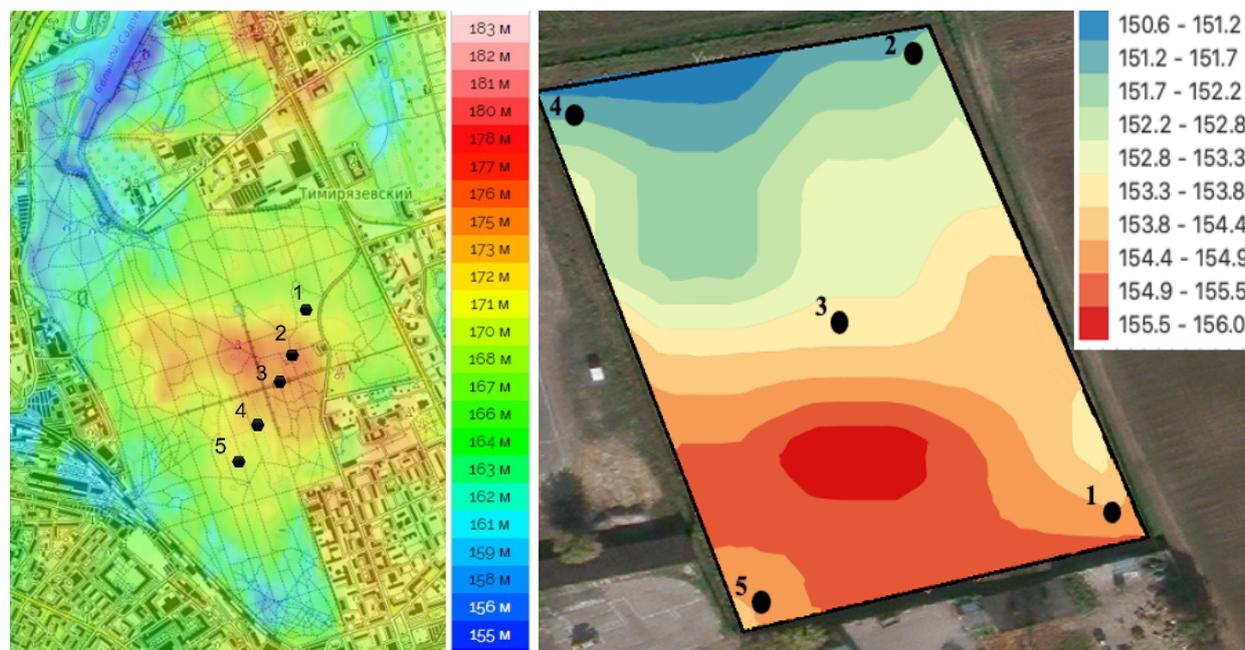


Рис. 1. Расположение исследуемых участков: левый – ЛОД; правый – Длительный полевой опыт

Fig. 1. Location of the study sites (left – Forest Experimental Dacha (FED); right – Long-Term Experiment (LTE))

Второй участок исследований, агроэкосистема – Длительный полевой опыт, названный в честь известного русского ученого и агронома Алексея Григорьевича Дояренко. Данный ДПО был заложен в 1912 г. Опыт представляет собой земельный участок площадью 1,5 га с уклоном в 1°, располагается на южной окраине Клинско-Дмитровской возвышенности. Согласно классификации ФАО почва – *Podsol-luvisol* или дерново-средне- и слабоподзолистая, старопашотная.

В настоящее время стационар включает в себя: 1) бесменные культуры с 1912 г. (рожь, картофель, ячмень, клевер, лен и поле «вечного» пара); 2) шестипольный севооборот с ротацией тех же культур во времени (пар – рожь – картофель – ячмень – клевер – лен) (рис. 2).

Мониторинговые наблюдения включали в себя полевые исследования заложенных участков, отбор (в 3-кратной повторности) и взвешивание образцов с помощью весового снегомера ВС-43, определение глубины снега и его плотности. Запас влаги в образцах снежного покрова определялся по стандартной методике Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды как отношение массы отобранного снега к его объему [12].

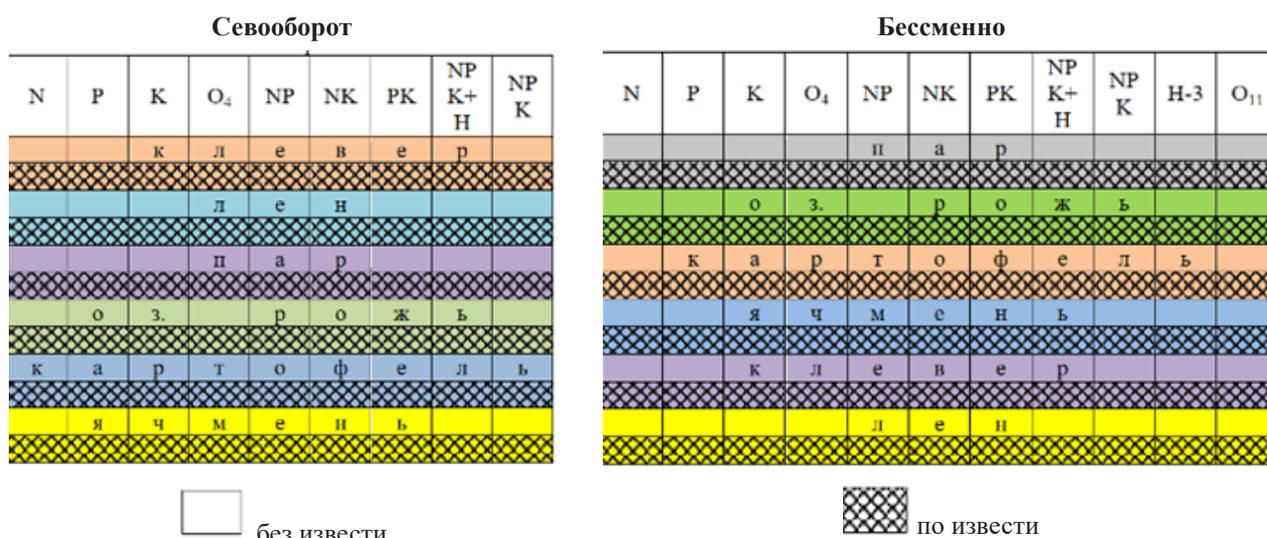


Рис. 2. Схематический план и размещение культур в Длительном опыте имени А.Г. Дояренко

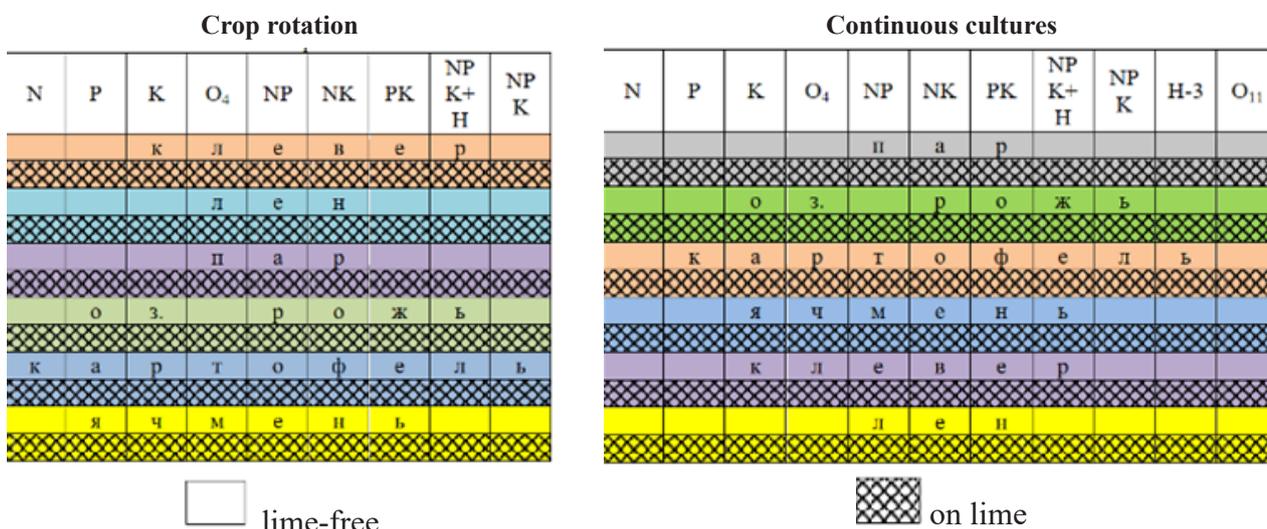


Fig. 2. Schematic plan and placement of crops in the Long-Term Experiment named after A.G. Doyarenko

Результаты и их обсуждение

Основными показателями снежного покрова являются три характеристики: высота снега, плотность снега и запас влаги. По данным А.Т. Баранова, эти показатели имеют очень большое значение для формирования качественной и количественной оценки снежного покрова, но стоит рассматривать значительное количество повторностей отбора образцов, так как погрешность может быть весьма высокой, что не даст точных результатов. При исследовании влагозапаса в почве после процесса снеготаяния следует рассматривать верхний пахотный горизонт, где распределение влаги является более равномерным.

Исследования проводились в момент максимальной концентрации влагосапаса в снеге, в конце сезона, когда высота снега и его плотность достигали максимальных показателей перед периодом снеготаяния.

Из полученных результатов за 2022-2023 гг. следует, что высота снежного покрова в лесной экосистеме (на территории Лесной опытной дачи) превышает высоту снега на Длительном полевом опыте более чем в 2 раза (рис. 3).

На территории лесной экосистемы наибольшая высота снежного покрова характерна для участка, расположенного на прямом слабопокатоном коротком склоне моренного холма северо-восточной экспозиции в нижней части склона (ПСВ-1), – 37 см, а также на пологом склоне повышенной длины юго-западной экспозиции в нижней части склона слабовогнутой формы (ПЮЗ-5) – 36 см.

Минимальная высота снежного покрова для лесной экосистемы характерна для выположенной вершины моренного холма (ВМХ-3) – 29 см.

В агроэкосистеме, представленной Длительным полевым опытом, максимальная высота снежного покрова отмечается на ключевом участке № 2 (14 см), а минимальная – на ключевом участке № 4 (9 см).

Контрольные измерения высоты снежного покрова на станции В.А. Михельсона продемонстрировали значение высоты снега в 31 см, что ненамного меньше, чем в лесной экосистеме. На поле контрольная точка также продемонстрировала закономерность и составила 18 см

В 2022-2023 гг. наблюдаются варьированные плотности снежного покрова на исследуемых объектах. При сравнении данных показателей выявлено превышение плотности в 2 раза в лесной экосистеме по сравнению агроэкосистемой (рис. 4). Максимальная плотность снега в лесной экосистеме наблюдалась на ключевых участках, расположенных на подошве склонов северо-восточной и юго-западной экспозиций (участки № 1 и № 5), составив 0,4 г/см³.

Минимальные значения плотности снега в лесной экосистеме составили 0,3 г/см³ на склоне повышенной длины юго-восточной экспозиции, что связано не только с экспозицией склона и расположением в мезорельефе, но и с видовым составом древесной растительности, сомкнутостью крон. Контрольное значение плотности снега из обсерватории В.А. Михельсона составило 0,35 г/см³.

Максимальные показатели плотности снега в агроэкосистеме составили 0,22 г/см³ на северной экспозиции склона, минимальные значения плотности снега – 0,11 г/см³ на противоположной, юго-западной экспозиции.

Запас воды в снеге является важнейшим показателем, который демонстрирует количество накопленной влаги в снежном покрове. В лесной экосистеме значения влаги гораздо выше, чем в агроэкосистемах. Максимальный показатель составил 148 мм на ключевом участке № 1. Максимальное значение в агроэкосистеме составило 30,07 мм, что почти в 5 раз меньше, чем в лесной экосистеме (рис. 5).

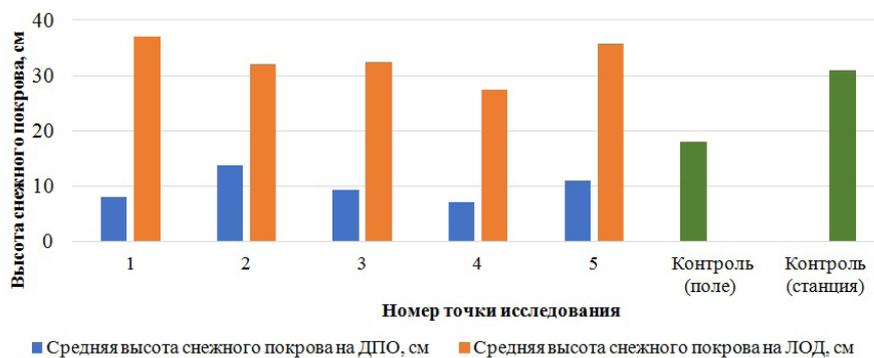


Рис. 3. Сравнение высоты снежного покрова на исследуемых участках

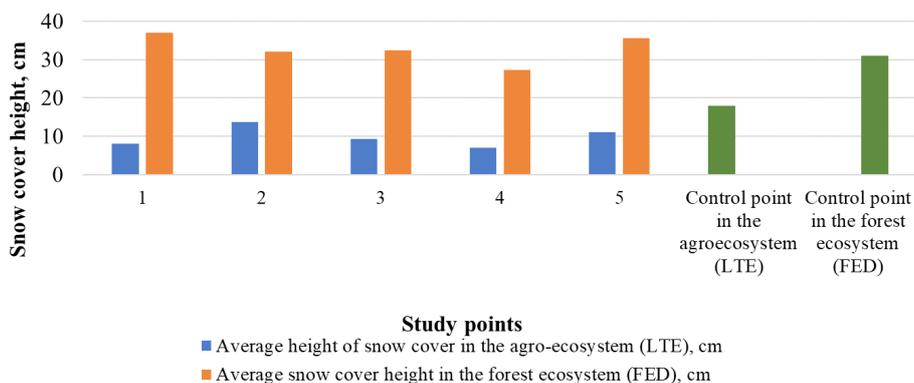


Fig. 3. Comparison of snow cover height at the study points

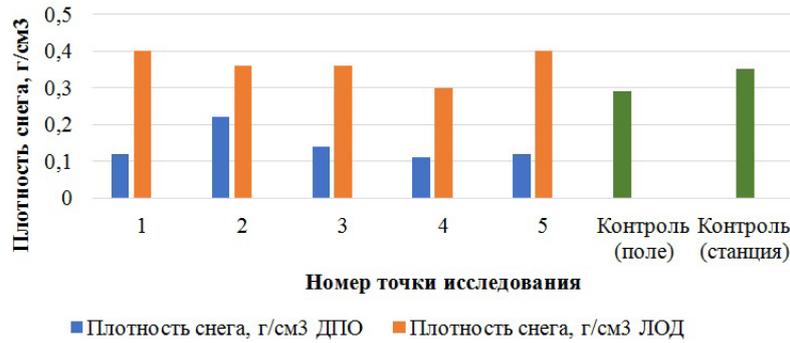


Рис. 4. Сравнение плотности снежного покрова на исследуемых участках

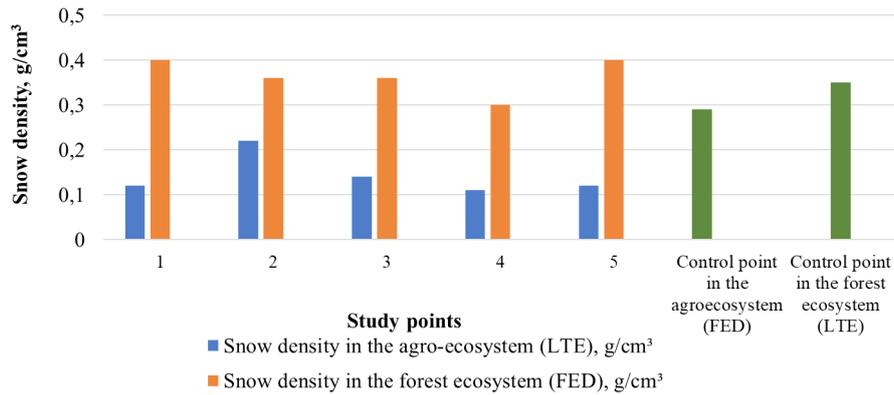


Fig. 4. Comparison of snow cover density at the study points

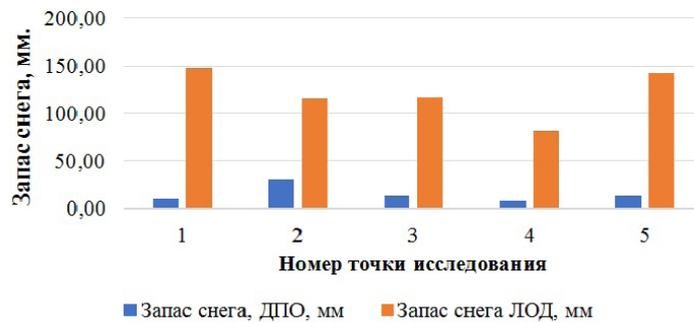


Рис. 5. Запас снега на исследуемых участках, мм

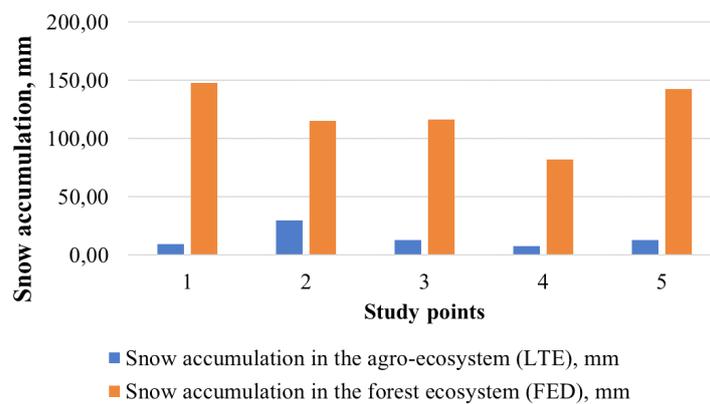


Fig. 5. Snow accumulation at the study points, mm

Таким образом, сравнительный анализ показал, что различия в динамике накопления и распределения снежного покрова для Лесной опытной дачи и территории Длительного полевого опыта за 2022-2023 гг. связаны с множеством факторов: климатических, гидрографических, географических, с наличием древесной растительности, разнообразием возделываемых сельскохозяйственных культур и др.

Выводы

1. На территории лесной экосистемы процессы снегонакопления были значительно выше, чем на участках агроэкосистем. Основными факторами формирования снежного покрова являются плотность и видовой состав древостоя, микроклиматические особенности, а также расположение ключевых участков в мезорельефе.

2. Формирование снежного покрова на участках агроэкосистем, в условиях открытого пространства без наличия растительности, продемонстрировало зависимость от рельефа и микроклиматических особенностей участка, величины инсоляционных потоков и интенсивного перераспределения снежной массы ветром. Микроклимат оказывает существенное влияние на накопление и распределение снега, интенсивность, продолжительность и особенности его весеннего таяния.

Список источников

1. *Снакин В.В.* Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность. Жизнь Земли. 2019;41 (2):148-164.
2. *Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В.* Глобальное изменение климата и его последствия. Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова. 2018;№ 2(98):84-93. <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>
3. *Константинов А.В., Матвеев С.М.* Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020;5:14-35. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.14>
4. *Мазиров М.А., Кирюшин Б.Д., Сафонов А.Ф.* Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: основные этапы развития методики и агротехники. Длительному полевому стационарному опыту ТСХА – 100 лет: итоги научных исследований: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2012:6-24.
5. *Моисеев Н.А.* Роль лесов в создании экологически комфортной среды обитания и меры для ее реализации. Лесной журнал. 2019; 5:203-207. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-5-203>
6. *Ahmed M.* Introduction to Modern Climate Change. Andrew E. Dessler: Cambridge University Press. 2011:252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139397>
7. *Гавриловская Н.В., Гриценко М.А.* Информационно-прогностическая система обработки и анализа агрометеорологической информации: Материалы Тринадцатой конференции по математике «МАК-2010», г. Барнаул. 2010:80-82.
8. *Тихонова М.В.* Экологическая оценка пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии N₂O и CO₂ на лесном участке, фоновом для севера Московского мегаполиса: Сборник статей Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2015:402-405.
9. *Хлустов В.К.* Влияние континентальности климата и испаряемости за год на продуктивность древостоев: Доклады ТСХА. 2021;293 (IV):442-445.
10. *Спыну М.Т.* Функционально-экологическая оценка пространственно-временной изменчивости эмиссии потоков парниковых газов в посадке ивы пурпурной на городских почвах: Материалы Международной научно-практической конференции «Вклад

References

1. *Snakin V.V.* Global climate change: forecasts and reality // Life of the Earth. 2019;41(2):148-164. (In Rus.)
2. *Bondarenko L.V., Maslova O.V., Belkina A.V., Sukhareva K.V.* Global climate change and its consequences. Vestnik REA im. G.V. Plekhanova. 2018;2(98). <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93> (In Rus.)
3. *Konstantinov A.V., Matveev S.M.* Methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems of the Russian Federation. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva. 2020;5:14-35. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.14> (In Rus.)
4. *Mazirov M.A., Kiryushin B.D., Safonov A.F.* Long-term field experience of RSAU – MTAA: the main stages of development of methods and agricultural technology. Dlitel'nomu polevomu statsionarnomu opyту TSKHA – 100 let: itogi nauchnykh issledovaniy. Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKhA im. K.A. Timiryazeva. 2012:6-24. (In Rus.)
5. *Moiseev N.A.* Role of forests in creating an ecologically comfortable living environment and measures for its implementation. Lesnoy zhurnal. 2019;5:203-207. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-5-203> (In Rus.)
6. *Ahmed M.* Introduction to Modern Climate Change. Andrew E. Dessler: Cambridge University Press. 2011:252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139397>
7. *Gavrilovskaya N.V., Gritsenko M.A.* Information and forecasting system for processing and analysis of agrometeorological information. Materialy Trinadtsatoy konferentsii po matematike “MAK-2010”, Barnaul, 18-20 iyunya 2010 g. 2010:80-82. (In Rus.)
8. *Tikhonova M.V.* Ecological assessment of the spatiotemporal variability of soil N₂O and CO₂ emissions in a forest area, background for the north of the Moscow metropolis. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva. 2015:402-405. (In Rus.)
9. *Khlustov V.K.* Effect of climate continentality and annual evaporation on the productivity of tree stands. Doklady TSKhA. 2021;293(IV):442-445. (In Rus.)
10. *Spynu M.T.* Functional-ecological assessment of the spatio-temporal variability of greenhouse gas emissions in the planting of purple willow on urban soils. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Vklad molodykh uchenykh agrarnykh

молодых ученых аграрных вузов и НИИ в решение проблем импортозамещения и продовольственной безопасности России», г. Волгоград. 2021:51-53.

11. *Барабанов А.Т.* К вопросу о методологических и методических основах исследований гидрологической роли почвозащитных мероприятий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020;1(57):34-43. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-03>

12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам: Руководящий документ: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; В.И. Кондратюк (рук.) и др. – СПб.: Гидрометеоздат, 2005:21.

Сведения об авторах

Мария Васильевна Тихонова, доцент кафедры экологии, канд. биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tmv@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0002-9422-5846

Елена Михайловна Илюшкова, ассистент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: e.ilyushkova@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0003-4867-1586

Александр Иванович Белолобцев, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии, д-р с.-х. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: abelolyubcev@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0002-3562-9330

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, orcid: 0000-0002-8127-1050

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, orcid: 0000-0003-3856-6563

Сергей Юрьевич Ермаков, старший преподаватель кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.ermakov@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0003-1120-0326

Никита Александрович Александров, ассистент 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

Статья поступила в редакцию 06.09.2023
Одобрена после рецензирования 05.10.2023
Принята к публикации 09.10.2023

vuzov i NII v reshenie problem importozameshcheniya i prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii», Volgograd. 2021:51-53. (In Rus.)

11. *Barabanov A.T.* On the issue of methodological and methodological foundations for researching the hydrological role of soil protection measures. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2020;1(57):34-43. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-03> (In Rus.)

12. *Kondratyuk V.I. et al.* Manual for hydrometeorological stations and posts: Guidance document. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2005:21. (In Rus.)

Information about authors

Maria V. Tikhonova, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: tmv@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0002-9422-5846.

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

Aleksandr I. Belolyubtsev, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Meteorology and Climatology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: abelolyubcev@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0002-3562-9330

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

Aleksey V. Buzylev, Senior Lecturer of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: axe@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0003-3856-6563

Sergey Yu. Ermakov, Senior Lecturer of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: s.ermakov@rgau-msha.ru, orcid: 0000-0003-1120-0326

Nikita A. Alexandrov, Assistant of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: alexandrov_na@rgau-msha.ru

The article was submitted to the editorial office 06 Sep 2023
Approved after reviewing 05 Oct 2023
Accepted for publication 09 Oct 2023

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 619: 616.1: 636.52/.58: 636.92: 636.082
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-37-42>



Определение показателей артериального давления у цыплят-бройлеров и кроликов для оценки функции сердечно-сосудистой системы

Владимир Георгиевич Вертипрахов, Эдуард Фамилович Садыхов, Мария Андреевна Бурова

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

Автор, ответственный за переписку: Владимир Георгиевич Вертипрахов; e-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru

Аннотация. Определение артериального давления у животных имеет важное значение для оценки состояния сердечно-сосудистой системы, особенно при клинической диагностике заболеваний, а также как критерий факторов, действующих на организм в эксперименте. При этом данные по изучению артериального давления у птиц в современной научной литературе представлены слабо, а показатели артериального давления у кроликов ранее изучались, но мнения об их значениях в пределах физиологической нормы сильно расходятся. Целью нашей работы стала отработка метода определения артериального давления у цыплят-бройлеров и у кроликов с использованием современного портативного тонометра PetMAP graphic II, Cardio Command. Результаты исследований позволили установить, что артериальное давление у цыплят-бройлеров значительно выше, чем у кроликов. Различия объясняются особенностями метаболизма и функционирования сердечной системы, а именно: менее длительным сердечным циклом у птиц, чем у млекопитающих.

Ключевые слова: артериальное давление цыплят-бройлеров, артериальное давление кроликов

Финансирование. Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-26-00124 «Разработка способа снижения болевого синдрома при внутримышечном введении трипсина животным».

Для цитирования: Вертипрахов В.Г., Садыхов Э.Ф., Бурова М.А. Определение показателей артериального давления у цыплят-бройлеров и кроликов для оценки функции сердечно-сосудистой системы // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 37-42. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-37-42>

© Вертипрахов В.Г., Садыхов Э.Ф., Бурова М.А., 2023

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-37-42>



Determination of Blood Pressure Indexes in Broiler Chickens and Rabbits to Assess Cardiovascular Function

Vladimir G. Vertiprahov, Eduard F. Sadykhov, Mariya A. Burova

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

Corresponding author: Vladimir G. Vertiprahov; vertiprahov@rgau-msha.ru

Abstract. The determination of blood pressure in animals is important for the assessment of the cardiovascular system, especially in the clinical diagnosis of diseases, and as a criterion of factors acting on the tested organism. At the same time, the data on the study of blood pressure in birds are poorly presented in modern scientific literature, and blood pressure indexes of rabbits have been studied earlier, but opinions about their values within the physiological norm vary greatly. The purpose of our work was to develop a method of measuring blood pressure in broiler chickens and rabbits using a modern portable tonometer PetMAP graphic II, Cardio Command. The results of the research showed that the blood pressure in broiler chickens is significantly higher than that in rabbits. The differences are explained by the peculiarities of the metabolism and functioning of the cardiac system, namely: a shorter cardiac cycle in birds than in mammals.

Keywords: blood pressure in broiler chickens, blood pressure in rabbits

Financing: The research was funded by RNF grant No. 23-26-00124 “Development of a method to reduce pain syndrome during intramuscular injection of trypsin in animals”.

For citation: Vertiprakhov V.G., Sadykhov E.F., Burova M.A. Determination of Blood Pressure Indexes in Broiler Chickens and Rabbits to Assess Cardiovascular Function. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:37-42. (In Rus.), <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-37-42>

© Vertiprakhov V.G., Sadykhov E.F., Burova M.A., 2023

Введение

Показатели артериального давления отражают работу сердца и кровообращения, изменения которых позволяют судить о функционировании сердечно-сосудистой системы. Артериальное давление является важным параметром для клинического обследования животных [1, 2]. Неинвазивный метод, основанный на способе по Короткову, широко применяется для диагностики заболеваний мелких животных. Он удобен для применения в ветеринарной практике в связи с доступностью и простотой использования. У данного метода есть свои недостатки, в качестве которых выступают ограничения в мониторинге артериального давления при гипертонии и гипотонии, так как прибор может не улавливать все пульсовые толчки ввиду чрезмерно быстрых или приглушенных импульсов, отражая артериальное давление с погрешностью [3, 4]. В исследованиях по изучению реакции организма кроликов на внутримышечное введение трипсина мы применили данный метод измерения артериального давления, поскольку одним из критериев болевой реакции является изменение кровообращения у животных [5].

Цель исследований – определить и сравнить показатели артериального давления у цыплят-бройлеров и кроликов для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Методика исследований

Исследования проводились на базе зоостанции (на кроликах) и птичнике (на цыплятах-бройлерах) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2023 г. В эксперименте использовали 15 кроликов породы шиншилла 4-5-месячного возраста массой не менее 4000 г и 10 цыплят-бройлеров кросса РОСС 308 35-дневного возраста массой около 1900-2000 г. Животных содержали в металлических клетках: кроликов – в специальных клетках КР-ВПО-3.6, кормили полнорационным гранулированным комбикормом для кроликов (ГОСТ 32897-2014) в количестве 100-110 г ежедневно при даче 2 раза в сутки; цыплят-бройлеров содержали в клетках КБ-3.6 на рационе «Финиш» согласно спецификации для данного кросса. Измерение артериального давления у кроликов и цыплят-бройлеров осуществлялось непрямым методом с помощью ветеринарного портативного тонометра PetMAP graphic II, Cardio Command (США) (рис. 1). Принцип действия данного прибора основан на регистрации показателей артериального давления (систолического, диастолического, среднего артериального), которые отображаются в числовых значениях и в форме графика сердечной деятельности. Точность результатов обеспечивается за счет указания места расположения манжеты.

Манжета фиксировалась у цыплят-бройлеров на цевке, где проходит предплюсневая артерия, и на передней конечности у кроликов, где проходят лучевая и локтевая артерии. Для наибольшей достоверности статистического анализа все измерения на каждом животном производились по 3 раза. Весь цифровой материал обрабатывали методом вариационной статистики с использованием компьютерной программы Excel и таблиц Стьюдента.



Рис. 1. Измерение артериального давления у кролика и цыпленка (фото авторов)

Fig. 1. Measuring blood pressure of a rabbit and a chicken (photo by the authors)

Результаты и их обсуждение

Показатели артериального давления у цыплят-бройлеров за два дня измерения представлены в таблице 1. В результате исследований было установлено, что в состоянии покоя в среднем значения систолического давления у цыплят-бройлеров составляют $222,2 \pm 8,2$ мм рт.ст., а значения диастолического давления – $134,2 \pm 5,1$ мм рт.ст.

Таблица 1

Средние показатели артериального давления у цыплят-бройлеров ($M \pm m$, $n=10$)

№ цыпленка	Артериальное давление, мм рт.ст.		
	систолическое	диастолическое	среднее
1-й день			
1	196±4,1	127±2,4	162±1,0
2	245±7,7	138±12,9	192±9,0
3	231±3,1	151±13,1	191±8,0
4	251±11,3	129±1,7	190±6,0
5	202±13,8	115±6,4	159±3,7
2-й день			
1	155±11,5	90±2,9	123±7,1
2	230±6,6	146±26,4	188±13,7
3	230±7,5	148±14,3	189±6,5
4	269±2,4	164±1,6	217±2,0
5	213±3,6	134±4,6	174±4,1
среднее	222,2±8,2	134,2±5,1	178,5±6,4

Table 1

Average blood pressure in broiler chickens ($M \pm m$, $n=10$)

No. of chicken	Blood pressure, mmHg		
	systolic	diastolic	average
Day 1			
1	196±4.1	127±2.4	162±1.0
2	245±7.7	138±12.9	192±9.0
3	231±3.1	151±13.1	191±8.0
4	251±11.3	129±1.7	190±6.0
5	202±13.8	115±6.4	159±3.7
Day 2			
1	155±11.5	90±2.9	123±7.1
2	230±6.6	146±26.4	188±13.7
3	230±7.5	148±14.3	189±6.5
4	269±2.4	164±1.6	217±2.0
5	213±3.6	134±4.6	174±4.1
average	222.2±8.2	134.2±5.1	178.5±6.4

Значения показателей сильно варьируют в зависимости от состояния ЦНС и метаболизма у птицы. В связи с этим диапазон имеет колебания: систолического давления – от 175 до 275 мм рт.ст., диастолического – от 100 до 180 мм рт.ст., а среднее артериальное давление составляет $178,5 \pm 6,4$ мм рт.ст.

Данные по изучению артериального давления у птиц в современной научной литературе нами не обнаружены, что говорит о необходимости в дальнейшем изучении данного вопроса. Показатели артериального давления у кроликов ранее изучались, но мнения об их значениях в пределах физиологической нормы сильно расходятся, вследствие чего продолжение изучения данного вопроса остается актуальным.

На основании данных, представленных в таблице 2, среднее значение систолического давления у кроликов составляет $183,5 \pm 12$ мм рт.ст., среднее значение диастолического давления – $125,5 \pm 7,5$ мм рт.ст.

Таблица 2

Средние показатели артериального давления у кроликов ($M \pm m$, $n=15$)

№ кролика	Артериальное давление, мм рт.ст.		
	систолическое	диастолическое	среднее
1	$171 \pm 6,1$	$118 \pm 18,4$	$145 \pm 12,3$
2	$197 \pm 16,6$	$128 \pm 9,8$	$163 \pm 12,9$
3	$180 \pm 7,9$	$113 \pm 9,3$	$147 \pm 8,0$
4	$183 \pm 12,8$	$127 \pm 16,0$	$155 \pm 14,4$
5	$182 \pm 8,2$	$128 \pm 11,4$	$155 \pm 9,3$
6	$203 \pm 13,0$	$127 \pm 7,8$	$165 \pm 7,4$
7	$197 \pm 18,8$	$128 \pm 4,1$	$163 \pm 10,5$
8	$152 \pm 17,8$	$109 \pm 6,2$	$131 \pm 10,1$
9	$197 \pm 13,8$	$154 \pm 6,7$	$176 \pm 10,2$
10	$172 \pm 8,9$	$124 \pm 6,0$	$148 \pm 7,0$
среднее	$183,5 \pm 12$	$125,5 \pm 7,5$	$154,8 \pm 3,2$

Table 2

Average blood pressure in rabbits ($M \pm m$, $n=15$)

No. of rabbit	Blood pressure, mmHg		
	systolic	diastolic	average
1	171 ± 6.1	118 ± 18.4	145 ± 12.3
2	197 ± 16.6	128 ± 9.8	163 ± 12.9
3	180 ± 7.9	113 ± 9.3	147 ± 8.0
4	183 ± 12.8	127 ± 16.0	155 ± 14.4
5	182 ± 8.2	128 ± 11.4	155 ± 9.3
6	203 ± 13.0	127 ± 7.8	165 ± 7.4
7	197 ± 18.8	128 ± 4.1	163 ± 10.5
8	152 ± 17.8	109 ± 6.2	131 ± 10.1
9	197 ± 13.8	154 ± 6.7	176 ± 10.2
10	172 ± 8.9	124 ± 6.0	148 ± 7.0
average	183.5 ± 12	125.5 ± 7.5	154.8 ± 3.2

Известно, что при определении артериального давления у кроликов инвазивным способом показатель составил $99,75 \pm 2,63$ [6]. Аналогичным образом при наблюдении изменений легочной гемодинамики у кроликов было измерено артериальное давление, которое в условиях нормального исходного уровня составило 74 ± 5 мм рт.ст. [7]. Стоит отметить, что измерения, произведенные инвазивным и неинвазивным методами, могут отличаться.

При изучении влияния повышенного внутричерепного давления кроликов было выявлено, что исходный уровень артериального давления составлял $63,2 \pm 4,84$, а после повышения внутричерепного давления артериальное давление увеличилось до $128,8 \pm 14,68$ мм рт.ст. [8], хотя по нашим наблюдениям, такие значения характерны для кроликов с нормальным артериальным давлением.

По данным Р. Домингеса, диапазон Ван Леерсума для артериального давления у здорового кролика находится в интервале между 70 и 170 мм рт.ст. [9]. При изучении влияния ОВП-1 (1,3-оксазол-4-ил-фосфонової кислоты) на показатели артериального давления у кроликов было выявлено, что исходное артериальное давление у них составляет $123,63 \pm 1,33$ [10], что согласуется с данными, полученными нами в ходе эксперимента, где среднее артериальное давление у кроликов составляло $154,8 \pm 3,2$ мм рт.ст.

Систолическое давление у кур в среднем превышает давление в момент систолы у кроликов на 17,4% ($p < 0,05$). Диастолическое давление у цыплят-бройлеров незначительно увеличено в сравнении с данным показателем у кроликов лишь на 6,0% ($p < 0,40$). Среднее артериальное давление у кур выше, чем у кроликов, на 13,4% ($p < 0,01$).

Выводы

Подводя итоги, можно сделать заключение о том, что среднее артериальное давление у цыплят-бройлеров составляет $178,5 \pm 6,4$ мм рт.ст. (222/134), что значительно выше, чем у кроликов, – $154,8 \pm 3,2$ мм рт.ст. (183/125). Эти показатели можно считать физиологической нормой. Различия же объясняются особенностями метаболизма и функционирования сердечной системы, а именно: менее длительным сердечным циклом у птиц, чем у млекопитающих [11], за счет чего частота сердечных сокращений и, вероятнее всего, артериальное давление у птиц находятся в более высоких пределах в сравнении с показателями у кроликов.

Список источников

1. Skelding A., Valverde A. Non-invasive blood pressure measurement in animals: Part 1 – Techniques for measurement and validation of non-invasive devices. *Can Vet J.* 2020;61 (4):368-374. PMID: 32255821; PMCID: PMC7074114.
2. Bellini L., Veladiano I.A., Schrank M., Candaten M., Mollo A. Prospective clinical study to evaluate an oscillometric blood pressure monitor in pet rabbits. *BMC Vet Res.* 2018;14(1):52. – Feb. 27. PMID: 29482612; PMCID: PMC5827987. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1369-4>
3. Skelding A., Valverde A. Review of non-invasive blood pressure measurement in animals: Part 2 – Evaluation of the performance of non-invasive devices. *Can Vet J.* 2020. 61(5):481-498. – May. PMID: 32355347; PMCID: PMC7155879.
4. Sredenšek J., Žel J., Rocchi A. and Gasparik-Küls N. Evaluation of agreement between invasive and non-invasive blood pressure measurement using the PetMAP™ device in rabbits. *Front. Vet. Sci.* 2023;10:1141480. PMID: 37492435; PMCID: PMC10363599. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1141480>
5. Вертупрахов В.Г., Седлецкая Е.С., Латынина Е.С. и др. Реакция организма кроликов на внутримышечное введение трипсина. *Ветеринария.* 2023;8:42-45. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.8.42-45>
6. Саидов С.А. Корреляция прироста массы тела и артериального давления при моделировании метаболического синдрома у кроликов. *BISSA.* 2006;2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korrelyatsiya-pri->

References

1. Skelding A., Valverde A. Non-invasive blood pressure measurement in animals: Part 1 – Techniques for measurement and validation of non-invasive devices. *Can Vet J.* 2020; 61(4):368-374. PMID: 32255821; PMCID: PMC7074114
2. Bellini L., Veladiano I.A., Schrank M., Candaten M., Mollo A. Prospective clinical study to evaluate an oscillometric blood pressure monitor in pet rabbits. *BMC Vet Res.* 2018;14(1):52. Feb. 27. PMID: 29482612; PMCID: PMC5827987. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1369-4>
3. Skelding A., Valverde A. Review of non-invasive blood pressure measurement in animals: Part 2 – Evaluation of the performance of non-invasive devices. *Can Vet J.* 2020;61(5):481-498. May. PMID: 32355347; PMCID: PMC7155879
4. Sredenšek J., Žel J., Rocchi A. and Gasparik-Küls N. Evaluation of agreement between invasive and non-invasive blood pressure measurement using the PetMAP™ device in rabbits. *Front. Vet. Sci.* 2023;10:1141480. PMID: 37492435; PMCID: PMC10363599. <https://doi.org/10.3389/fvets>
5. Vertiprakhov V.G., Sedletskaia E.S., Latynina E.S. et al. Reaction of the body of rabbits to intramuscular injection of trypsin. *Veterinary Medicine.* 2023;8:42-45. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.8.42-45> (In Rus.)
6. Saidov S.A. Correlation of body weight gain and blood pressure in modeling metabolic syndrome in rabbits. *BISSA.* 2006;2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korrelyatsiya-prirosta-massy-tela-i-arterialnogo->

rosta-massy-tela-i-arterialnogo-davleniya-pri-modelirovani-metabolicheskogo-sindroma-u-krolikov (дата обращения: 27.08.2023).

7. *Evlakhov V.I., Poyasov I.Z.* Изменения легочной гемодинамики при экспериментальной ишемии миокарда у кроликов после повышения артериального давления. Российский физиологический журнал им И.М. Сеченова. 2012;3:342-351.

8. *Miyazaki C., Shimizu K., Nagasawa Y. et al.* Effects of Enhanced Intracranial Pressure on Blood Pressure and the Cardio-Ankle Vascular Index in Rabbits Journal of Atherosclerosis and Thrombosis. 2021;28 (11):1241-1249. PMID: 33473056; PMCID: PMC8592690. <https://doi.org/10.5551/jat.59451>

9. *Dominguez R.* The systolic blood pressure of the normal rabbit measured by a slightly modified van leersum method: final report. Journal of Experimental Medicine. 1927;46(3):443-461. PMID: 19869348; PMCID: PMC2131243. <https://doi.org/10.1084/jem.46.3.443>

10. *Ниженковская И.В., Зайченко А.В., Седько Е.В. и др.* Исследование влияния производственного 1,3-оксазол-4-ил-фосфорной кислоты на артериальное давление и сердечный ритм у кроликов. Рецепт. 2018;1:75-83.

11. *Харин С.Н.* Физиологические закономерности функционирования желудочков сердца у птиц и млекопитающих: Дис. ... д-ра биол. наук / Институт физиологии Коми научного центра УрО РАН, 2010:167-179.

Сведения об авторах

Владимир Георгиевич Вертипрахов, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>

Эдуард Фамилович Садыхов, аспирант кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Мария Андреевна Бузова, студент 3 курса (направление подготовки 36.03.02 – Зоотехния, институт зоотехнии и биологии), РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Статья поступила в редакцию 07.09.2023
Одобрена после рецензирования 22.09.2023
Принята к публикации 02.10.2023

davleniya-pri-modelirovanii-metabolicheskogo-sindroma-u-krolikov (Access date: 27.08.2023) (In Rus.)

7. *Evlakhov V.I., Poyasov I.Z.* Changes in pulmonary hemodynamics during experimental myocardial ischemia in rabbits after increasing blood pressure // Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im I.M. Sechenova. 2012;3:342-351. (In Rus.)

8. *Miyazaki C., Shimizu K., Nagasawa Y. et al.* Effects of Enhanced Intracranial Pressure on Blood Pressure and the Cardio-Ankle Vascular Index in Rabbits. J Atheroscler Thromb. 2021;28(11):1241-1249-1241-1249. PMID: 33473056; PMCID: PMC8592690. <https://doi.org/10.5551/jat.59451>

9. *Dominguez R.* The systolic blood pressure of the normal rabbit measured by a slightly modified van leersum method: final report. J. Exp Med. 1927;46(3):443-461. PMID: 19869348; PMCID: PMC2131243. <https://doi.org/10.1084/jem.46.3.443>

10. *Nizhenkovskaya I.V., Zaychenko A.V., Sedko E.V. et al.* Study of the effect of industrial 1,3-oxazol-4-yl-phosphoric acid on blood pressure and heart rate in rabbits. Recipe. 2018;1:75-83. (In Rus.)

11. *Kharin S.N.* Physiological patterns of functioning of the heart ventricles in birds and mammals: DSc (Bio) thesis. Syktyvkar, 2010:167-179. (In Rus.)

Information about the authors

Vladimir G. Vertiprahov, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Physiology, Ecology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>.

Eduard F. Sadykhov, post-graduate student of the Department of Physiology, Ecology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation).

Mariya A. Burova, third-year student (training program 36.03.02 – Zootechnics, Institute of Zootechnics and Biology), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation).

The article was submitted to the editorial office 07 Sep 2023
Approved after reviewing 22 Sep 2023
Accepted for publication 02 Oct 2023

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 598.2: 634.7: 631.559.2(470-25)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-43-50>



Влияние некоторых массовых видов птиц на урожай плодово-ягодных культур в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Любовь Васильевна Маловичко, Александр Валерьевич Зубков, Андрей Викторович Диков

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

Автор, ответственный за переписку: Любовь Васильевна Маловичко; l-malovichko@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся данные о месте и роли в биоповреждениях некоторыми массовыми видами птиц Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Приводятся характер и степень биоповреждений, вызываемых серыми воронами, грачами, рябинниками, обыкновенными скворцами, домовыми и полевыми воробьями, огарями, урожая плодово-ягодных культур. В послегнездовой период серые вороны большими стаями прилетают в сад. Одна серая ворона за день расклевывает и съедает в среднем 400-600 г фруктов (чаще всего – груши и яблоки). Грачи во время осенних миграций собираются стаями в саду и обрывают орехи и груши. Один грач за день уничтожает около 15 орехов. Рябинники и скворцы после вылета птенцов из гнезд вместе со слетками налетают на ягодники (иргу, виноград, вишню, черешню) и в среднем повреждают 10,5% урожая. Полевые домовые воробьи поедают ягоды (в среднем 9,5% урожая), весной активно поедают почки деревьев. В статье также приводятся данные о некоторых репеллентных средствах, применяемых для предотвращения и снижения биоповреждений, вызываемых птицами: акустические, визуальные и динамические отпугиватели, светоотражающие и шумовые ленты. Целью исследований стало выявление основных повреждений плодово-ягодных культур массовыми видами птиц в Мичуринском саду. Пространственное распределение птиц в саду исследовали в 2021-2023 гг. по общепринятым в орнитологии методикам с последующей статистической обработкой. По результатам исследований установлены повреждения плодово-ягодных культур такими массовыми видами птиц, как серая ворона, грач, рябник, обыкновенный скворец, полевой и домовый воробей. Результаты исследований показывают реальный ущерб, нанесенный урожаю плодово-ягодных культур массовыми видами птиц, особенно серой вороной.

Ключевые слова: биоповреждения плодово-ягодных культур, птицы, массовые виды птиц, Мичуринский сад РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ущерб урожаю плодово-ягодных культур от птиц

Для цитирования: Маловичко Л.В., Зубков А.В., Диков А.В. Влияние некоторых массовых видов птиц на урожай плодово-ягодных культур в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 43-50. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-43-50>

© Маловичко Л.В., Зубков А.В., Диков А.В., 2023

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-43-50>



Effect of Some Common Bird Species on Yield of Fruit and Berry Crops in the Michurinskiy Garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Lyubov' V. Malovichko, Aleksandr V. Zubkov, Andrey V. Dikov

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

Corresponding author: Любовь Васильевна Маловичко; l-malovichko@yandex.ru

Abstract. The article presents the data on the place and role of some common bird species in biological damage of the Michurinskiy Garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The nature and extent of biological damage to fruit and berry crops caused by gray crows, Eurasian rooks, fieldfares, common starlings, house sparrows and tree sparrows, and roody sheld ducks are given. In the post-breeding period gray crows come to the garden in large flocks. A grey crow pecks and eats an average of 400-600 g of fruit a day (mostly pears and apples). Rooks gather in flocks in the garden during the autumn migration and peck nuts and pears. A rook destroys about 15 nuts

a day. Fieldfares and starlings with their pulli attack berry plants (shadberry, grape, red and black cherry), damaging an average of 10.5% of the crop. Tree and house sparrows eat berries (9.5% of the crop on average) and actively feed on tree buds in spring. The article also provides data on some repellent means used to prevent and reduce biological damage caused by birds: acoustic, visual and dynamic repellents, reflective and noise tapes. The purpose of the research was to identify the main damage to fruit and berry crops caused by common bird species in the Michurinskiy Garden. The spatial distribution of birds in the orchard was studied in 2021-2023 according to generally accepted methods in ornithology with subsequent statistical processing. According to the results of the research, the damage to fruit and berry crops by such common bird species as gray crows, Eurasian rooks, fieldfares, starlings, house sparrows and tree sparrows was established. The results of the research show the real damage caused to fruit and berry crops by common bird species, especially gray crows.

Keywords: biological damage to fruit and berry crops, birds, common bird species, Michurinskiy Garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, damage to fruit and berry crops caused by birds

For citation: Malovichko L.V., Zubkov A.V., Dikov A.V. Effect of Some Common Bird Species on Yield of Fruit and Berry Crops in the Michurinskiy Garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:43-50. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-43-50> (In Rus.)

© Malovichko L.V., Zubkov A.V., Dikov A.V., 2023

Введение

Интенсивное изменение природной среды и создание антропогенных биоценозов в мире сегодня непосредственно влияют на фауну птиц, являющуюся одним из составных компонентов естественных биоценозов. В результате происходят изменения в видовом составе, численности, хозяйственном значении птиц и формируются своеобразные адаптивные реакции в их поведении.

В населенных пунктах и вблизи от них сформировалась специфическая фауна птиц. Основными ее особенностями являются ограниченное количество видов и большое количество особей. Это связано с тем, что немногие виды птиц смогли приспособиться к специфическим условиям жизни в городе. Однако те, которые смогли приспособиться, нашли на территории города благоприятную среду для быстрого и массового размножения. Численность птиц-синантропов в крупных городах достигает десятков и сотен особей. Это касается и садоводства: эксплуатационных садов, ягодников и питомников. В связи с этим изучение численности, распространения, экологических и этологических особенностей массовых видов птиц, их места в биоповреждениях и разработка мер предотвращения и снижения их вреда представляют большой научный и практический интерес.

Цель исследований – выявление основных повреждений плодово-ягодных культур массовыми видами птиц в Мичуринском саду.

Методика исследований

Мичуринский сад находится в Тимирязевском районе САО Москвы. Его географические координаты: 55°83' с.ш., 37°55' в.д. Сад заложен осенью 1939 г. на площади 9 га, а осенью 1976 г. расширен до 20 га.

В Мичуринском саду были проведены суточные наблюдения за активностью серых ворон и грачей с 13 этажа, откуда хорошо просматривается весь сад. Вред, нанесенный птицами урожаю, определили методами пробных квадратов. Мониторинг оценки повреждений плодовых и ягодных культур проводили на основании маршрутных обследований территории сада с учетом не менее 5 случайно выбранных растений каждой культуры. Учет осуществляли согласно общепринятым методикам и рекомендациям с расчетом среднего процента поврежденности плодов птицами на дереве [3, 4]. При этом учитывали степень повреждения плодов:

- слабая – повреждены отдельные плоды;
- средняя – повреждено до 50% плодов;
- сильная – повреждено более 50% плодов.

Биоповрежденческая деятельность птиц изучалась по общепринятым методикам В.Д. Ильичева [6], В.Д. Ильичева, Б.В. Бочарова, А.А. Анисимова [7] и др.

Результаты и их обсуждение

Данные по биоэкологическим особенностям птиц и биоповреждениях, вызываемых ими, нашли свое отражение в научных работах А.В. Барановского [1], А.Р. Жабборова [5], М.У. Мамашукурова [9], А.В. Матюхина [10] и др. Однако в упомянутых и других источниках не показаны экологические и этологические особенности массовых видов птиц, их место в биоповреждениях в городах, тем более мегаполисах. В связи с этим изучение численности, распространения, экологических и этологических особенностей серой

вороны, грача, дрозда-рябинника, огаря, обыкновенного скворца, полевого и домового воробьев в условиях мегаполиса, их места в биоповреждениях и разработка мер предотвращения и снижения их вреда представляют большой научный и практический интерес (табл. 1).

Биоповреждения – процесс, при котором живые организмы своей деятельностью или, по крайней мере, присутствием вызывают изменение (ухудшение) функциональных и структурных характеристик искусственных или природных объектов [2].

Таблица 1

Биоповреждения, вызванные птицами, и степень их ущерба

Вид	Повреждения	Нанесенный ущерб	Примечания (растения с наибольшими повреждениями)
Серая ворона (<i>Corvus cornix</i>)	Уничтожение этикеток с деревьев, порча плодов, повреждение глазков косточковых культур	Косточковые культуры – 5-10%, Семечковые – 10-15%, Орехоплодные – 100%	Сорта орехов Rode Zelenrot и Webba
Грач (<i>Corvus frugilegus</i>)	Потребление плодовых, ягодных культур, черенков и зимних прививок садовых растений	До 15%	Формы орехов: о. грецкого и гибридах о. грецкого с о. айлантолистным
Рябинник (<i>Turdus pilaris</i>)	Порча ягодных культур после вылета молодняка	До 100%	Земляника, ирга, жимолость
Обыкновенный скворец (<i>Sturnus vulgaris</i>)	Поедание почек плодовых культур и плодов	Степень поражения вишни до 90%	Раннеспелые сорта черешни, вишни, жимолости
Огарь (<i>Tadorna ferruginea</i>)	Повреждение коры косточковых и черенков садовых культур	Повреждения происходят в период фазы активного сокодвижения	Черешня и слива
Полевой (<i>Passer montanus</i>) и домовый воробьи (<i>P. domesticus</i>)	Поедание ягод и семян	До 50-70%	Ягодники жимолости

Table 1

Biological damage caused by birds and the extent of their damage

Species	Type of damage	Damage caused	Notes (most damaged plants)
Gray crow (<i>Corvus cornix</i>)	Destruction of labels from trees, spoilage of fruits, damage of stone fruit eye	Stone crops – 5-10%, Seed crops – 10-15%, Nut crops – 100%	Rode Zelenrot and Webba nut varieties
Eurasian rook (<i>Corvus frugilegus</i>)	Consumption of fruit, berry crops, cuttings and winter grafts of garden plants	Up to 15%	Nut forms: o. walnut and hybrids of o. walnut with o. ailanthus nut
Fieldfare (<i>Turdus pilaris</i>)	Spoilage of berry crops after pulli fly out	Up to 100%	Strawberries, shadberry, honeysuckle
Common starling (<i>Sturnus vulgaris</i>)	Eating buds of fruit crops and fruits	The degree of cherry damage is up to 90%	Early maturing varieties of red and black cherries, honeysuckles
Roody shield duck (<i>Tadorna ferruginea</i>)	Damage to bark of stone fruits and cuttings of horticultural crops	Damage occurs during the phase of active sap movement	Black cherry and plum
Tree (<i>Passer montanus</i>) and house-sparrows (<i>P. domesticus</i>)	Eating berries and seeds	Up to 50-70%	Honeysuckle bushes

Серая ворона. Нанесение вреда ворон садоводству начинается с марта (в этот период вороны срывают этикетки с названиями видов деревьев) и продолжается до поздней осени, когда уже в саду не остается плодов. В саду вороны собираются большими стаями, иногда до 400 особей. Чаще всего утром и вечером серые вороны налетают на плодоносящие деревья и сбивают на землю плоды, потом начинают их расклевывать, срывают довольно крупные яблоки и груши (массой до 45-50 г). Большой ущерб птицы наносят орехоплодным культурам: ореху грецкому, ореху айлантолистному, ореху маньчжурскому, ореху черному. Птицы расклеывают плоды орехов непосредственно на дереве или срывают их, поднимают на высоту, бросают на твердое покрытие (в том числе на автомобили), пытаясь добраться до ядра.

Наиболее значительный экономический ущерб птицы наносят питомнику Мичуринского сада. В школке сеянцев, на первом поле питомника, участке доращивания вороны вынимают все вновь посаженные растения (рис. 1-2).



Рис. 1. Биоповреждающая деятельность серых ворон в Мичуринском саду (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 1. Biological damaging activity of gray crows in the Michurinskiy garden (photo by L.V. Malovichko)



Рис. 2. Бетонные столбики привлекают ворон в качестве присады. Расклеванные воронами груши (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 2. Concrete posts attract crows as perches. Pears scattered by crows (photo by L.V. Malovichko)

Зафиксированы случаи, когда стая ворон за 1-2 часа наносила повреждения опытным делянкам с вновь высаженными зелеными черенками на доращивание, и степень повреждения достигала 90-95% (более 1000 черенков).

Высокую активность птицы проявляют в период проведения окулировки, в конце июля – начале августа. При этом повреждения глазков (щитков) по косточковым культурам достигают 5-10%, по семечковым – 10-15%, по орехоплодным – до 100%. Велико негативное влияние ворон во втором (поле однолеток) и третьем (поле двухлеток) полях питомника. Птицы подлетают к растениям и совершают попытки сесть на биологический объект, при этом неизбежными являются механические повреждения ветвей. Довольно часто вороны повреждают прививки, и такие повреждения часто заканчиваются полным усыханием прививок. Отмечены случаи повреждения воронами маточных насаждений фундука, когда птицы склевывали набухшие ранней весной почки.

Нужно отметить, что повреждения по сортам являются неодинаковыми. По сорту Rode Zelenrot и Webba повреждения достигали 70-80%. Напротив, сорта Nottingham, Тамбовский ранний имели повреждения почек не более 5%. Приземляясь на пленочные укрытия, вороны регулярно нарушают целостность защитных сооружений.

Грач. Грачи появляются в саду в конце лета и осенью. В последнее время стали известны случаи употребления ими в пищу сочных плодов ряда садовых культур, особенно ягодных. Грачи активно питаются орехами, которые срывают с деревьев, и тут же поедают их. Наибольшие повреждения отмечены на формах ореха грецкого и на гибридах ореха грецкого с орехом айлантолистным с толщиной эндосперма 0,7-3 мм – до 15%. Часть плодов грачи прячут в почве. Часто они повреждают вновь высаженные зимние прививки, одревесневшие и зеленые черенки, которые птицы используют для обустройства гнезд (рис. 3).

Рябинник. Многочисленный вид Мичуринского сада. После вылета молодых птиц из гнезд стаи начинают активно посещать ягодники. В основном они расклевают вишню, смородину, иргу, землянику, жимолость и др. Ущерб, который приносят рябинники плодам, достигает 100% по землянике, ирге, жимолости (рис. 4).



Рис. 3. Деятельность грачей в садах (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 3. Activity of Eurasian rooks in gardens (photo by L.V. Malovychko)

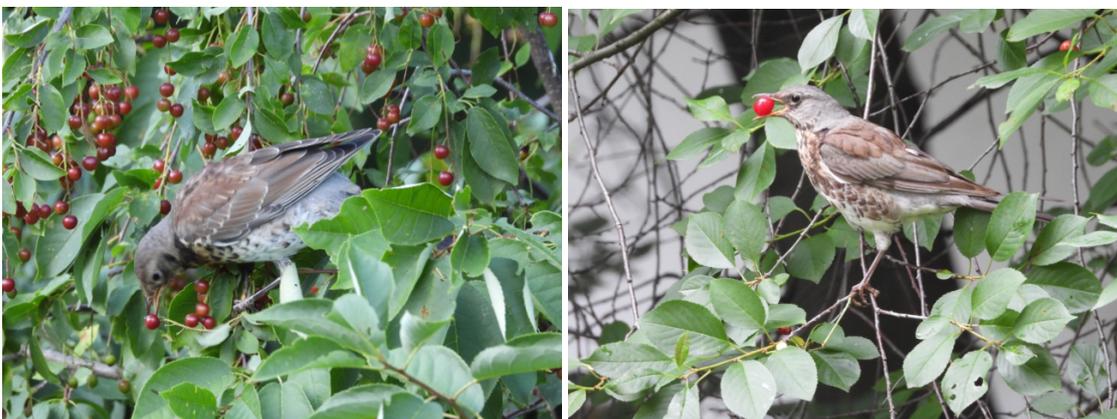


Рис. 4. Рябинники охотно поедают ягоды черешни и вишни (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 4. Fieldfares willingly eat red and black cherry berries (photo by L.V. Malovychko)

Обыкновенный скворец. В Мичуринском саду скворец причиняет большой вред в основном раннезрелым сортам черешни, вишни, жимолости. Весной обыкновенные скворцы активно поедают почки плодовых культур. С 6:00 утра скворцы начинают прилетать в сад и бывают активными в утренние и вечерние часы. Установлено, что в сад площадью 20 га в течение дня прилетают в среднем 112 обыкновенных скворцов (рис. 5). Самыми повреждаемыми сортами являются сорта раннего срока созревания по вишне (Аморель розовая, Вита, Гирлянда, Гриот московский, Складья розовая) и по черешне (Ипать, Овстуженка, Ревна). Степень пораженности данных сортов достигает 90%.

Огарь. Проявляет активность в период с конца апреля по август (рис. 6). Пик активности приходится на утренние часы (до 10:00). В Мичуринском саду зафиксированы повреждения некоторых косточковых культур: черешни и сливы. Птицы повреждают кору – преимущественно молодых растений возрастом до 5-6 лет. Повреждения птицами происходят в период наиболее высокой оводненности тканей растений, в физиологическую фазу активного сокодвижения. Отмечены единичные повреждения высаженных зеленых черенков садовых культур. Как правило, птицы повреждают растения в дождливую погоду.

Полевой и домовый воробьи. Эти птицы находятся на территории сада круглогодично (рис. 7). Они питаются ягодами и семенами. Большая активность воробьев замечена на плодоносящих яблонях жимолости. Степень повреждения ягод при этом достигает 50-70%. Поздние сорта жимолости с толстой и плотной кожицей поедаются менее активно.



Рис. 5. Обыкновенный скворец в Мичуринском саду (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 5. Common starling in the Michurinsk garden (photo by L.V. Malovichko)



Рис. 6. Огари в саду весной и осенью (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 6. Roody sheld ducks in the garden in spring and autumn (photo by L.V. Malovichko)



Рис. 7. Полевой воробей и домовый воробей (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 7. Tree sparrow and house sparrow (photo by L.V. Malovychko)

Многие птицы, прежде всего вороны, сороки, галки, грачи, способствуют перезаражению растений бактериальными и грибными заболеваниями [10]. Так, даже незначительные повреждения воронами недозревших плодов ореха грецкого способствовали развитию бактериозов. Механические повреждения птицами листьев и побегов, особенно в раннелетний период, семечковых, косточковых и орехоплодных культур провоцировали развитие грибных заболеваний: альтернариоза, кладоспориоза, марсонииза и некоторых других.

Выводы

Результаты исследований подтверждают устойчивую территориальную экспансию и рост численности серой вороны, грача, рябинника и других массовых видов птиц в Мичуринском саду, нанося ущерб плодово-ягодным культурам. В послегнездовой период серые вороны большими стаями (до 500 особей) прилетают в сад. Одна серая ворона за день расклеивает и съедает в среднем 400-600 г фруктов (чаще всего – груши и яблоки). Грачи во время осенних миграций собираются стаями в саду и обрывают орехи и груши. Один грач за день уничтожает около 15 орехов. Рябинники и скворцы после вылета птенцов из гнезд вместе со слетками налетают на ягодники (иргу, жимолость, землянику, виноград, вишню, черешню) и в среднем повреждают 50-70% урожая. Полевые и домовые воробьи поедают ягоды (в среднем 30-50% урожая), а весной они активно поедают почки деревьев.

Высокоэффективными способами предотвращения и снижения вреда биоповреждений, вызываемых птицами, являются оптические репелленты (разные конфигурации зеркальных шаров) и акустические репелленты (сигналы бедствия, а также видовые позывы хищных птиц). Самый высокий положительный результат в защите от птиц, активно поедающих плоды ягодных культур, имеет сетка. При этом лучше всего использовать сетку плотностью более 20 г/м², менее плотная сетка сложна в монтаже и часто способствует запутыванию в ней птиц. На участках питомника и в эксплуатационных садах семечковых, ягодных и орехоплодных культур, где нет возможности установить защитную сетку, лучший результат показывает совместное использование акустических, динамических и визуальных отпугивателей.

Наиболее эффективным является использование акустических репеллентов с большим разнообразием звуков хищных птиц, обязательным наличием таймера с плавающей задержкой, который необходим для устранения эффекта привыкания. Использование светоотражающих и звуковых лент показало низкую эффективность: большинство птиц быстро привыкали к данным средствам защиты. Быстрее всего процесс адаптации к лентам наблюдался у ворон и мог составлять от 2-3 часов до 1-2 суток. По прошествии этого периода вороны начинали проявлять любопытство к лентам, и в ряде случаев данный вид отпугивателей в определенной степени способствовал привлечению птиц.

Список источников

1. Барановский А.В. Механизмы экологической сегрегации домового и полевого воробьев: монография. Рязань. 2010:192.
2. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев, 1989:288.
3. Долженко В.И. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве. Спб.: ООО «СПБ СРП «ПАВЕЛ» ВОГ», 2009:378.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012:352.
5. Жабборов А.Р. Биоповреждения, вызываемые птицами и совершенствование экотехнологических методов их предотвращения в Узбекистане: дисс. ... д-ра биол. наук. Ташкент, 2016:220.
6. Ильичев В.Д. Проблемы биоповреждений и народное хозяйство // I Всесоюз. конф. по биоповреждениям. М.: Наука, 1978:209-212.
7. Ильичев В.Д. Управление поведением птиц: монографическая сводка. М.: Наука, 1984:303.
8. Ильичев В.Д., Бочаров Б.В., Анисимов А.А. Биоповреждения. М.: Высшая школа, 1987:352.

References

1. Baranovskiy A.V. Mechanisms of ecological segregation of house and tree sparrows: monograph. Ryazan, 2010:192. (In Rus.)
2. Dedyu I.I. Ecological encyclopedic dictionary. Kishinev, 1989:288. (In Rus.)
3. Dolzhenko V.I. Guidelines for registration testing of insecticides, acaricides, molluscicides and rodenticides in agriculture. St. Petersburg: ООО "SPB SRP "PAVEL" VOG", 2009:378. (In Rus.)
4. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012:352. (In Rus.)
5. Zhabborov A.R. Biological damage caused by birds and improvement of eco-technological methods for their prevention in Uzbekistan: DSc (Bio) thesis. Tashkent, 2016:220. (In Rus.)
6. Il'ichev V.D. Problems of biological damage and the national economy. Materialy I Vsesoyuznoy konferentsii po biopovrezhdeniyam. M.: Nauka, 1978:209-212. (In Rus.)
7. Il'ichev V.D. Control of bird behavior: monographic summary. M.: Nauka, 1984:303. (In Rus.)
8. Il'ichev V.D., Bocharov B.V., Anisimov A.A. Biological damage: a textbook for students of biological

9. *Мамашукуров А.У.* Место и роль некоторых массовых видов птиц в биоповреждениях в Ферганской долине Узбекистана. Бюллетень науки и практики. 2021;7(9):32-41. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/70/03>

10. *Матюхин А.В.* Биология, экология, поведение, эктопаразиты и эпидемиологическое значение воробьев (*Passer montanus*, *P. domesticus*, *P. indicus*) Северной Палеарктики. М., 2013:192.

Сведения об авторах

Любовь Васильевна Маловичко, д-р биол. наук, профессор кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 44, корп. 16; e-mail: l-malovichko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1040-2890>

Александр Валерьевич Зубков, канд. экон. наук, доцент кафедры плодоводства, виноградарства и виноделия, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 6; e-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>

Андрей Викторович Диков, канд. биол. наук, преподаватель кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 44, корп. 16; e-mail: dikoff@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8191-4127>

Статья поступила в редакцию 13.09.2023
Одобрена после рецензирования 07.11.2023
Принята к публикации 17.11.2023

specialties at universities. М.: Vysshaya shkola, 1987:352. (In Rus.)

9. *Mamashukurov A.U.* Place and role of some common bird species in biological damages in the Fergana Valley of Uzbekistan // Bulletin of Science and Practice. 2021;7;9:32-41. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/70/03> (In Rus.)

10. *Matyukhin A.V.* Biology, ecology, behavior, ectoparasites and epidemiological significance of sparrows (*Passer montanus*, *P. domesticus*, *P. indicus*) of the Northern Palearctic. М., 2013:192. (In Rus.)

Information about the authors

Lyubov' V. Malovichko, DSc (Bio), Professor of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (44, b.16, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: l-malovichko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1040-2890>

Aleksandr V. Zubkov, CSc (Econ), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (6, Pryanishnikova Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>

Andrey V. Dikov, CSc (Bio), Lecturer of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (44, b.16, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: dikoff@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8191-4127>

The article was submitted to the editorial office 13 Sep 2023
Approved after reviewing 07 Nov 2023
Accepted for publication 17 Nov 2023

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 598.28/.29(470.62/.67)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-51-58>



Факторы элиминации сойки в Центральном Предкавказье

Любовь Васильевна Маловичко, Валерия Владиславовна Кузнецова

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

Автор, ответственный за переписку: Любовь Васильевна Маловичко; l-malovichko@yandex.ru

Аннотация. В статье анализируются различные факторы элиминации сойки в Центральном Предкавказье. Наибольшее количество соек гибнет на автомобильных дорогах в результате столкновения с транспортом. За год на дорогах Ставрополя погибает около 1 млн птиц (Шевцов и др.). Помимо автодорог, существенный «вклад» в сокращение численности птиц вносит гибель на полях от петиционного отравления и при столкновениях с зеркальными стеклами зданий или лопастями ветроустановок. Среди абиотических факторов гибель соек вызывают погодные условия, главным образом – морозы и осадки. В качестве биотических причин гибели рассматриваются разорение гнезд и хищничество полозов и птиц. Результаты исследований показывают основные факторы элиминации сойки в Центральном Предкавказье и карту гибели их на автодорогах Ставропольского края.

Ключевые слова: сойки, элиминация, факторы элиминации, гибель птиц на автодорогах, Центральное Предкавказье, пестицидное отравление птиц

Для цитирования: Маловичко Л.В., Кузнецова В.В. Факторы элиминации сойки в Центральном Предкавказье // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 51-58. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-51-58>

© Маловичко Л.В., Кузнецова В.В., 2023

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-51-58>



Factors of Jay Elimination in the Central Pre-Caucasus

Lyubov' V. Malovichko, Valeriya V. Kuznetsova

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

Corresponding author: Lyubov' V. Malovichko, l-malovichko@yandex.ru

Abstract. The article analyses various factors of jay elimination in the Central Pre-Caucasus. Most jays die on motorways as a result of collisions with traffic. Approximately one million birds die each year on motorways in the Stavropol Territory (Shevtsov et al.). In addition to motorways, deaths in the fields due to poisoning by pesticides, deaths due to collisions with mirrored glass buildings or wind turbine blades contribute significantly to the decline in bird numbers. Among the abiotic factors, weather conditions, especially frost and precipitation, are responsible for the death of jays. Nest destruction and predation by steppe rat snakes and birds are considered biotic causes of jay extinction. The results of the study show the main factors of jay elimination in the Central Pre-Caucasus and the map of their death on the motorways of the Stavropol Territory.

Key words: jays, elimination, elimination factors, bird death on motorways, Central Pre-Caucasus, pesticide poisoning of birds

For citation: Malovichko L.V., Kuznetsova V.V. Factors of Jay Elimination in the Central Pre-Caucasus. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:51-58. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-51-58> (In Rus.)

© Malovichko L.V., Kuznetsova V.V., 2023

Введение

Анализ факторов, лимитирующих численность сойки *Garrulus glandarius* (Linnaeus 1758), представляет принципиальный интерес, так как главной задачей сохранения любого вида является именно знание воздействия этих факторов.

Факты гибели птиц от случайных причин в природе не так уж редки, но информация о них публикуется нечасто, сохраняясь в лучшем случае на страницах полевых дневников.

Цель исследований: выявить роль абиотических факторов элиминации численности сойки в Центральном Предкавказье.

Методика исследований

В качестве методики применялись метод пеших и автомобильных учетов, площадочные учеты и анализ трудов, посвященных гибели соек в Центральном Предкавказье [1-8].

Результаты и их обсуждение

Абиотические факторы элиминации. В суровую зиму 2012 г., в феврале, при аномально холодной погоде (25⁰С) в нише песчаного карьера у хутора Родионова Новоалександровского района был найден труп сойки.

В 2008 г., 30 августа, в Кочубеевском районе прошел разрушительный град с ветром скоростью 35 м/с. На следующий день, 31 августа, можно было непосредственно руками ловить ослабевших птиц, которых порывы ветра буквально валили. Так, в с. Казьминском среди множества погибших птиц были найдены 2 сойки с перебитыми крыльями и лапками.

17 июля 2023 г. на Ставрополье обрушился ливень, и в 15:40 начался град, который продолжался около 20 мин. Градины достигали размеров от гороха до голубинового яйца. После града в г. Ставрополе было обнаружено много погибших птиц, среди которых отмечена гибель 2 соек: во дворе юго-западного района и в центральном парке. В этот же день в Иргаклинском заказнике Степновского района егеря А.Г. Шалый зафиксировал массовую гибель птиц от града, среди которых была одна сойка.

24 июля 2019 г. на территории Бештаугорского асфальтового завода (г. Пятигорск) была обнаружена погибшая молодая сойка, часть перьев и ноги которой были приклеены застывшим битумом. В те дни стояла очень жаркая погода, и битум плавился, растекаясь по дороге.

Таким образом, наблюдения показывают, что при неблагоприятных погодных условиях гибель птиц может быть значительной. При этом следует учесть, что большая часть их трупов растаскивается хищниками и не поддается учету.

Биотические факторы элиминации. Во время орнитологических исследований, особенно при изучении гнездовой биологии птиц, часто приходится встречаться с таким явлением, как разорение гнезд хищниками, при этом значительная доля похищенных яиц и птенцов приходится на змей. Среди наиболее активных разорителей птичьих гнезд, безусловно, «ведущая роль» принадлежит узорчатому полозу *Elaphe dione* – замечательному древолазу, который в поисках гнезд часто обследует кроны деревьев и кустарников.

Узорчатые полозы часто обследуют стволы и кроны деревьев, разоряя гнезда птиц, устроенные в дуплах [9-11]. В с. Дивном Апанасенковского района мы наблюдали, как полоз разорил кладку сойки из 3 яиц (рис. 1).



Рис. 1. Узорчатый полоз – разоритель птичьих гнезд (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 1. Steppe rat snake as a destroyer of birds' nests (photo by L.V. Malovychko)

При близком расположении жилых гнезд серой вороны и сойки часто наблюдались конфликты между ними. В результате хищнической деятельности серой вороны (*Corvus cornix*) происходит значительная гибель яиц и птенцов сойки (рис. 2). Так, на модельном участке черешневого сада в с. Донском Труновского района на площади 6 га 12 мая 2021 г. серые вороны разорили 4 гнезда сойки с 5, 3, 4 и 4 яйцами. Поэтому высокая численность серых ворон является одним из основных факторов, сдерживающих рост численности соек.

Другим фактором, влияющим на численность соек, является хищничество бродячих кошек. Так, молодая сойка попала в кошке 23 августа 2019 г. на кошаре около хутора Поперечного Туркменского района.

Сойка является важным компонентом в пищевом спектре хищных птиц и сов.



Рис. 2. Кладка сойки, разоренная серыми воронами (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 2. Laying of a jay ravaged by hooded crows (photo by L.V. Malovichko)

Таблица 1

Роль сойки в питании некоторых птиц на юге России

Вид	Регион	Кол-во встреч	% от встреч	Источник информации
Тетеревятник (<i>Accipiter gentilis</i>)	Ставропольский край	7	8,4	Ильях, Хохлов, 2010
	Тебердинский национальный парк	262	12,7	Ткаченко, Витович, 1997
	Придонье	9	3,4	Белик, 2000
	Краснодар	8	4,6	Чуманкин, 2003
	Дагестан	1	1,2	Петров, Гусев, 1995
Перепелятник (<i>Accipiter nisus</i>)	Ставропольский край	1	11,1	Ильях, Хохлов, 2010
Канюк (<i>Buteo buteo</i>)	Тебердинский национальный парк	7	3,4	Ткаченко, Витович, 1991
Филин (<i>Bubo bubo</i>)	КМВ (визуально)	4	2,8	Ильях, Хохлов, 2010
	КМВ (погадки)	4	3,2	Ильях, Хохлов, 2010
	Ставропольский край	3	4,2	Наши данные
Ворон (<i>Corvus corax</i>)	Ставропольский край	2	2,6	Наши данные
Серая ворона (<i>Corvus cornix</i>)	Ставропольский край	6	4,7	Наши данные

Table 1

Role of the jay in the nutrition of some birds in the south of Russia

Type	Region	Number of attacks	% of attacks	Source of information
Eurasian goshawk (<i>Accipiter gentilis</i>)	Stavropol Territory	7	8.4	И'юкх, Khokhlov, 2010
	Teberdinsky National Park	262	12.7	Tkachenko, Vitovich, 1997
	Pridonye	9	3.4	Belik, 2000
	Krasnodar	8	4.6	Chumankin, 2003
	Dagestan	1	1.2	Petrov, Gusev, 1995
Eurasian sparrowhawk (<i>Accipiter nisus</i>)	Stavropol Territory	1	11.1	И'юкх, Khokhlov, 2010
Common buzzard (<i>Buteo buteo</i>)	Teberdinsky National Park	7	3.4	Tkachenko, Vitovich, 1997
Eurasian eagle-owl (<i>Bubo bubo</i>)	CMW (Visually)	4	2.8	И'юкх, Khokhlov, 2010
	CMW (Sayings)	4	3.2	И'юкх, Khokhlov, 2010
	Stavropol region	3	4.2	Our data
Common raven (<i>Corvus corax</i>)	Stavropol Territory	2	2.6	Our data
Hooded crow (<i>Corvus cornix</i>)	Stavropol Territory	6	4.7	Our data

Таким образом, на соек охотятся не менее 6 видов птиц.

Антропогенные факторы элиминации. В Ставропольском крае неоднократно отмечали случаи отравления птиц на полях от пестицидов, гербицидов и минеральных удобрений [2, 12, 13]. Отмечены случаи гибели птиц, в том числе соек, и в фруктовых садах. Так, в яблоневом саду пос. Рыздвяного Изобильненского района Ставропольского края в июне 2010 г. после обработки сада на контрольном участке погибли 3 сойки, сидя на гнездах. Еще один случай гибели всех 5 птенцов (рис. 3) в гнезде отмечен в мае 2012 г. в грушевом саду после обработки около села Лесная дача Ипатовского района.



Рис. 3. Гибель птенцов сойки от отравления после обработки фруктового сада (фото Л.В. Маловичко)

Fig. 3. Death of jay chicks from poisoning after orchard treatment (photo by L.V. Malovichko)

Обычно перед открытием лагерной смены, в начале июня, территории детских оздоровительных лагерей обрабатывают от клещей, что вызывает гибель птиц. Так, 28 июня 2018 г. на территории детских оздоровительных лагерей Степнячок Арзгирского района и Сосновый бор г. Кисловодска после обработки отмечена гибель 9 видов птиц, в том числе по одной сойке.

Еще одним фактором, влияющим на численность соек, является столкновение с зеркальными стеклами зданий: птицы ударяются о стекла, находящиеся в тени, где, вероятно, в большей степени отражается окружающий ландшафт. Так, в с. Донском Труновского района 26 марта 2022 г. сойка ударилась о стекло витрины торгового центра; в г. Светлограде 10 мая 2023 г. сойка попала в щель застекленной лоджии высотного дома.

В последнее 10-летие по всему югу России появилось множество ветроустановок. Ветроэнергетика уже достигла уровня, который позволяет ей стать основным источником энергии, ведь она является привлекательным решением мировых энергетических проблем [14]. Однако эксплуатация ветровых (рис. 4) установок вызывает проблемы, одна из которых связана с птицами. Лопасти ветроустановки распугивают птиц, нарушая места их гнездования и кормежки, а также приносят им увечья и гибель. Так, нами был установлен случай гибели сойки, попавшей под лопасти ветроустановки около с. Константиновского Петровского района. По подсчетам, промышленные ветровые турбины являются причиной смерти 0,01-0,02% птиц в год [14].



Рис. 4. Ветроустановки – новая угроза для птиц (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 4. Wind turbines as a new threat to birds (photo by L.V. Malovichko)

Дороги – основная часть транспортной инфраструктуры государства и неотъемлемая часть современных ландшафтов. В последние годы происходит интенсивный рост дорожной сети с твердым покрытием, что неизбежно сказывается на сохранности птиц [15].

В Ставропольском крае автомобильные дороги разного качества связывают все населенные пункты. Общая их длина в крае составляет 26,6 тыс. км, в том числе с твердым покрытием – около 14,2 тыс. км. Все города и районные центры соединены шоссейными дорогами с твердым покрытием. Большинство усадеб сельхозпредприятий также связано улучшенными дорогами с районными центрами. В крае действуют 20 асфальтобетонных заводов, почти вся продукция которых направлена на строительство и ремонт автомагистралей.

На территории Ставропольского края с 2010 по 2012 гг. отмечена гибель на автодорогах 36 соек (рис. 5). Из них 17 соек погибли в зимний период, когда снегом была закрыта земля (сойки теряли бдительность и попадали под колеса автотранспорта). 11 соек погибли в летние месяцы, причем это все молодые птицы, и 8 соек – осенью.

Подавляющее большинство соек было сбито машинами на юге Ставропольского края: в Предгорном, Андроповском, Минераловодском, Кировском и Курском районах, поскольку данные районы представлены лесными массивами, старыми густыми лесополосами и фруктовыми садами. Довольно часто гибель птиц отмечалась на участках дорог Светлоград – Летняя Ставка и Александровское – Зеленокумск – Минеральные воды (рис. 6).



Рис. 5. Гибель соек на дорогах (фото Л.В. Маловичко)
Fig. 5. Death of jays on the motorways (photo by L.V. Malovichko)



Рис. 6. Встречаемость погибших соек на автодорогах Центрального Предкавказья
Fig. 6. Dead jays on the motorways of the Central Pre-Caucasus

Вдоль этих дорог находятся густые старые лесополосы – наиболее привлекательные места для гнездования соек. Безусловно, на разных участках автомобильных дорог число столкновений птиц с автотранспортом сильно варьирует и зависит от плотности птичьего населения в окружающих дорогу ландшафтах, привлекательности для ряда их видов обочин дороги в качестве кормовой станции, интенсивности движения автотранспорта и ряда других причин.

Следует признать, что автомобильные дороги являются одним из значимых факторов гибели птиц в антропогенном ландшафте.

Выводы

Таким образом, по результатам исследований главными лимитирующими факторами соек являются гибель на автодорогах, хищничество серых ворон, ястребов тетеревятников и филинов. Не менее важным фактором являются стихийные бедствия – такие, как шторм, град, ливень и резкое сильное похолодание. Довольно часто гибель птиц наблюдается от отравления, в том числе на территории детских летних оздоровительных лагерей, а также от пестицидных отравлений в агроценозах. Поскольку предпочитаемым биотопом для гнездования соек являются сады, то множество погибших птиц встречается после обработки садов инсектицидами.

Список источников

1. *Ильях М.П.* Хищные птицы и совы трансформированных степных экосистем Предкавказья: Дис. ... д-ра биол. наук. Ставрополь, 2010:430.
2. *Хохлов А.Н., Ильях М.П., Шевцов А.С.* Осенняя гибель птиц в Ставропольском крае. Биологическое разнообразие Кавказа: Материалы IX Международной конференции, Махачкала, 5-6 ноября 2007 г. Махачкала: Институт прикладной экологии Республики Дагестан, 2007:242-246.
3. *Хохлов А.Н., Фрезе В.В., Ильях М.П. и др.* Применение ядохимикатов в сельском хозяйстве как причина массовой гибели птиц в Ставропольском крае. Русский орнитологический журнал. 2018;27(1654):3976-3978.
4. *Ткаченко И.В., Витович О.А.* К биологии размножения кавказского канюка (*Buteo buteo menetriesi Bogd.*) в горной части Ставропольского края. Кавказский орнитологический вестник. Ставрополь, 1991;2:72-74.
5. *Ткаченко И.В., Витович О.А.* Питание тетеревятника в Тебердинском заповеднике. Кавказский орнитологический вестник. Ставрополь, 1997;9:122-130.
6. *Петров В.С., Гусев В.М.* О питании ястребов Кавказа. Хищные птицы и совы Северного Кавказа. Ставрополь, 1995:170-186.
7. *Белик В.П.* Птицы степного Придонья: формирование фауны, ее антропогенной трансформации и вопросы охраны. Ростов-на-Дону, 2000:376.
8. *Чуманкин Д.В.* К вопросу о зимовке тетеревятника в центральной части Краснодарского края. Ястреб-тетеревятник – место в экосистемах России. Пенза-Ростов, 2003:129-135.
9. *Березовиков Н.Н., Егоров В.А.* Змеи – разорители птичьих гнезд // Русский орнитологический журнал. 2007;16 (352):462-464.
10. *Ардамацкая Т.Б.* Змеи – истребители птиц, гнездящихся в дуплах. Русский орнитологический журнал. 2002;11(204):1076-1079.
11. *Мамбетжумаев А.М.* Биология размножения черноголового ремеза *Remiz coronatus* в низовьях Амударьи. Русский орнитологический журнал. 2001;10(166):959-967.
12. *Маловичко Л.В.* Массовая гибель серых журавлей от отравления ядохимикатами в Ставропольском крае зимой 2017/2018 гг. Информационный бюллетень рабочей группы по журавлям Евразии. 2001;14:169-171.
13. *Маловичко Л.В., Блохин Г.И., Блохин И.Г.* Анализ массовой гибели животных от пестицидного отравления в Ставропольском крае. Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий: Материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием. Владикавказ, 2023:158-164.
14. *Рогожина Д.В.* Воздействие ветровой энергии на гибель птиц. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012;1:1-12.
15. *Сальников Г.М., Буслаев С.В.* Гибель птиц на автомобильных дорогах в Ивановской области. Русский орнитологический журнал. 2013;22(909):2230-2231.

References

1. *Il'yukh M.P.* Birds of prey and owls of transformed steppe ecosystems of Ciscaucasia: DCs (Bio) thesis: 03.02.08. Stavropol, 2010:430. (In Rus.)
2. *Khokhlov A.N., Il'yukh M.P., Shevtsov A.S.* Autumn death of birds in the Stavropol Territory. Biologicheskoe raznoobraziye Kavkaza: Materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii, Makhachkala, 05-06 noyabrya 2007 goda. Makhachkala: Institut prikladnoy ekologii Respubliki Dagestan. 2007:242-246. (In Rus.)
3. *Khokhlov A.N., Frese V.V., Il'yukh M.P. et al.* Use of pesticides in agriculture as a cause of mass death of birds in the Stavropol Territory. Russkiy ornitologicheskij zhurnal. 2018;27(1654):3976-3978. (In Rus.)
4. *Tkachenko I.V., Vitovich O.A.* On the breeding biology of the Caucasian buzzard (*Buteo buteo menetriesi Bogd.*) in the mountainous part of the Stavropol Territory. Kavkazskiy ornitologicheskij vestnik. Stavropol. 1991;2:72-74. (In Rus.)
5. *Tkachenko I.V., Vitovich O.A.* Goshawk feeding in the Teberda Nature Reserve. Kavkazskiy ornitologicheskij vestnik. Stavropol. 1997;9:122-130. (In Rus.)
6. *Petrov V.S., Gusev V.M.* About the nutrition of Caucasian hawks. Khishchnye ptitsy i sovy Severnogo Kavkaza. Stavropol, 1995:170-186. (In Rus.)
7. *Belik V.P.* Birds of the steppe Don region: formation of fauna, its anthropogenic transformation and issues of protection. Rostov-on-Don. 2000:376. (In Rus.)
8. *Chumankin D.V.* On the issue of wintering of the goshawk in the central part of the Krasnodar region. The goshawk and its place in Russian ecosystems. Penza – Rostov. 2003:129-135. (In Rus.)
9. *Berezovikov N.N., Egorov V.A.* Snakes are destroyers of bird nests. Russkiy ornitologicheskij zhurnal. 2007;16(352): 462-464. (In Rus.)
10. *Ardamatskaya T.B.* Snakes are fighters of birds nesting in hollows. Russkiy ornitologicheskij zhurnal. 2002;11(204):1076-1079. (In Rus.)
11. *Mambetzhumaev A.M.* Biology of reproduction of the black-headed bream *Remiz coronatus* in the lower reaches of the Amu Darya. Russkiy ornitologicheskij zhurnal. 2001;10(166):959-967. (In Rus.)
12. *Malovichko L.V.* Mass death of gray cranes from poisoning with pesticides in the Stavropol Territory in the winter of 2017/2018. Inform. byul. rabochey gruppy po zhuravlyam Evrazii. 2001;14:169-171. (In Rus.)
13. *Malovichko L.V., Blokhin G.I., Blokhin I.G.* Analysis of mass death of animals from pesticide poisoning in the Stavropol Territory. Ekologicheskaya bezopasnost' i sokhranenie geneticheskikh resursov rasteniy i zhivotnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy: Materialy XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Vladikavkaz. 2023:158-164. (In Rus.)
14. *Rogozhina D.V.* Impact of wind energy on bird mortality. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2012;1:1-12. (In Rus.)
15. *Sal'nikov G.M., Buslaev S.V.* Death of birds on roads in the Ivanovo region. Russkiy ornitologicheskij zhurnal. 2013;22(909):2230-2231. (In Rus.)

Сведения об авторах

Любовь Васильевна Маловичко, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 44, корп. 16; e-mail: l-malovichko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1040-2890>

Кузнецова Валерия Владиславовна, ассистент кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 44, корп. 16; e-mail: valeriya.v.k@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4327-2458>

Статья поступила в редакцию 04.11.2023
Одобрена после рецензирования 30.11.2023
Принята к публикации 04.12.2023

Information about the authors

Lyubov' V. Malovichko, DSc (Bio), Professor of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (44, b.16, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: l-malovichko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1040-2890>

Valeriya V. Kuznersova, Assistant of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (44, b.16, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: valeriya.v.k@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4327-2458>

The article was submitted to the editorial office 04 Nov 2023
Approved after reviewing 30 Nov 2023
Accepted for publication 04 Dec 2023

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья

УДК 598.2 (470-25)

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-59-70>



**Анализ показателей разнообразия и сходства сообществ птиц
в 2018-2022 гг. в парках города Москвы**

Александра Алексеевна Василевская

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

Автор, ответственный за переписку: Александра Алексеевна Василевская; AlexVas13b@yandex.ru

Аннотация. В статье приведен анализ показателей разнообразия и сходства сообществ птиц в 7 парках г. Москвы: в парке «Зарядье», Петровском парке, Нескучном саду, природном заказнике «Воробьёвы горы», на территории Лесной опытной дачи (Тимирязевского парка), в парке культуры и отдыха «Сокольники», в природно-историческом парке «Царицыно» – в 2018-2022 гг. Показано, что как в малых (площадью до 100 га), так и в крупных парках наблюдается сходная динамика основных показателей разнообразия сообществ птиц: индекса Маргалефа, индекса Шеннона, индекса Пиелу и индекса Симпсона. В течение года в наименьших пределах колеблются индекс Пиелу и индекс Симпсона, в наибольших – индекс Маргалефа и индекс Шеннона. Видовое богатство и разнообразие сообществ обычно возрастают в гнездовой и сокращаются в негнездовой сезоны. Некоторые малые парки по усредненным показателям могут быть сравнимы с крупными парками. Так, усредненные значения индексов Маргалефа, Шеннона, Пиелу и Симпсона для сообществ птиц в новом парке «Зарядье» ($Dmf = 4,78 \pm 0,51$; $H = 2,25 \pm 0,14$; $E = 0,74 \pm 0,03$; $D = 0,17 \pm 0,03$) ближе всего к таковым в парке «Сокольники» ($Dmf = 5,35 \pm 0,62$; $H = 2,38 \pm 0,16$; $E = 0,7 \pm 0,03$; $D = 0,15 \pm 0,02$), территория которого в 50, а возраст – более чем в 80 раз больше. Это может указывать на то, что новые малые парки могут быть перспективными территориями для сохранения разнообразия сообществ птиц наравне со старыми крупными. Значения индекса Сёренсена указывают на сравнительно высокую обособленность сообществ птиц в течение всего года. Сходство сообществ незначительно повышается в гнездовой и понижается в негнездовой сезоны независимо от минимального расстояния между парками.

Ключевые слова: авифауна, птицы Москвы, парки Москвы, разнообразие и сходство авифауны, сезонная динамика, биоразнообразие, сходство сообществ, индекс Маргалефа, индекс Шеннона, индекс Пиелу и индекс Симпсона.

Для цитирования: Василевская А.А. Анализ показателей разнообразия и сходства сообществ птиц в 2018-2022 гг. в парках города Москвы // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 59-70. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-59-70>

© Василевская А.А., 2023

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-59-70>



**Analysis of Diversity and Similarity Indexes of Bird Communities
in Moscow Parks in 2018-2022**

Alexandra A. Vasilevskaya

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

Corresponding author: Александра Алексеевна Василевская; AlexVas13b@yandex.ru

Abstract. The article analyses diversity and similarity indexes of bird communities in seven parks of Moscow in 2018-2022 – Zaryadye Park, Petrovsky Park, Neskuchny Garden, Vorobyovy Gory Nature Reserve, Forest Experimental Dacha (Timiryazevsky Park), Sokolniki Park of Culture and Recreation, Tsaritsyno Nature and Historical Park. The results reveal that both small parks (up to 100 ha) and large parks show similar dynamics of basic diversity indexes: Margalef index, Shannon index, Pielou index and Simpson index. The values of the last two indexes vary insignificantly during the year, while the first two fluctuate noticeably. Species richness and community diversity usually increase in the breeding season and decrease in non-breeding season. Some small parks can be comparable to the large ones in terms of averaged indexes: averaged values of the Margalef index, Shannon index, Pielou index and Simpson index in the new Zaryadye Park ($Dmf = 4.78 \pm 0.51$; $H = 2.25 \pm 0.14$; $E = 0.74 \pm 0.03$; $D = 0.17 \pm 0.03$) are very close to those of Sokolniki Park ($Dmf = 5.35 \pm 0.62$; $H = 2.38 \pm 0.16$; $E = 0.7 \pm 0.03$).

$D = 0.15 \pm 0.02$), which is 50 times larger in area and 80 times older. This fact may indicate that new small parks, together with old large parks, can be promising areas for the conservation of bird community diversity. The Sørensen index values indicate relatively high isolation of bird communities throughout the year. The similarity of bird communities increases in the breeding season and decreases in non-breeding season, regardless of the minimum distance between the parks.

Key words: avifauna, Moscow birds, Moscow parks, diversity and similarity of avifauna, seasonal dynamics, biodiversity, community similarity, Margalef index, Shannon index, Pielou index, Simpson index.

For citation: Vasilevskaya A.A. Analysis of Diversity and Similarity Indexes of Bird Communities in Moscow Parks in 2018-2022. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:59-70. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-59-70>

Введение

Стандартные показатели обилия, разнообразия и выравненности сообществ птиц могут указывать на возможные причины сходства и различий между авифаунами разных территорий. Это особенно актуально для городских парков, сообщества птиц в которых могут сильно зависеть от качества местообитаний и быстрых изменений в них. Особый интерес представляет анализ сезонной динамики этих показателей, которая может указывать на то, насколько благоприятны условия той или иной территории в разное время года – например, насколько хорошо представлены кормовые ресурсы и гнездовые угодья в тот или иной сезон: первое представляется наиболее значимым фактором в негнездовой, второе – в гнездовой периоды.

Представляет интерес также анализ показателей сходства сообществ птиц в городских парках, расположенных на различном расстоянии друг от друга. Между ближайшими парками может происходить постоянный обмен видами и отдельными особями птиц. С другой стороны, даже в смежных парках могут образовываться и относительно изолированные сообщества, состав и структура которых определяют те или иные условия конкретных местообитаний – например, их площадь, возраст, свойства зеленых насаждений и т.п.

Цель исследований – анализ показателей разнообразия и сходства сообществ птиц в парках г. Москвы в 2018-2022 гг.

Методика исследований

В 7 парках г. Москвы (рис. 1), расположенных в пределах Московской кольцевой автодороги (МКАД): в парке «Зарядье» (площадь – 10 га), Петровском парке (22 га), в парке «Нескучный сад» (59,3 га), природном заказнике «Воробьевы горы» (137,5 га), на территории Лесной опытной дачи (ЛЮД, 250 га), в парке культуры и отдыха (ПКиО) «Сокольники» (516 га) и в природно-историческом парке «Царицыно» (1316 га), – в 2018-2022 гг. ежемесячно проводили учет по методу Ю.С. Равкина [1]. Территории площадью до 100 га условно считали малыми парками, территории более 100 га – крупными.

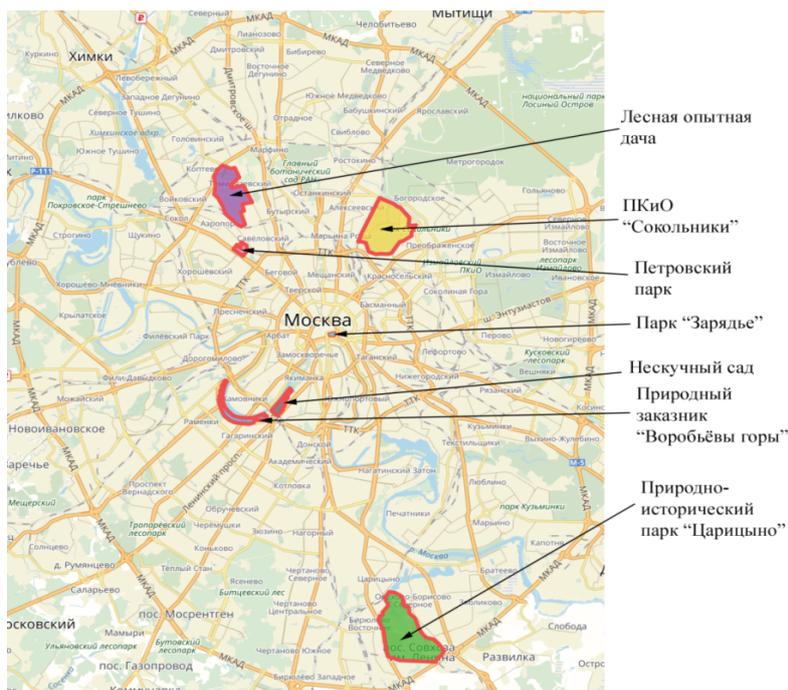


Рис. 1. Расположение исследуемых парков в г. Москве

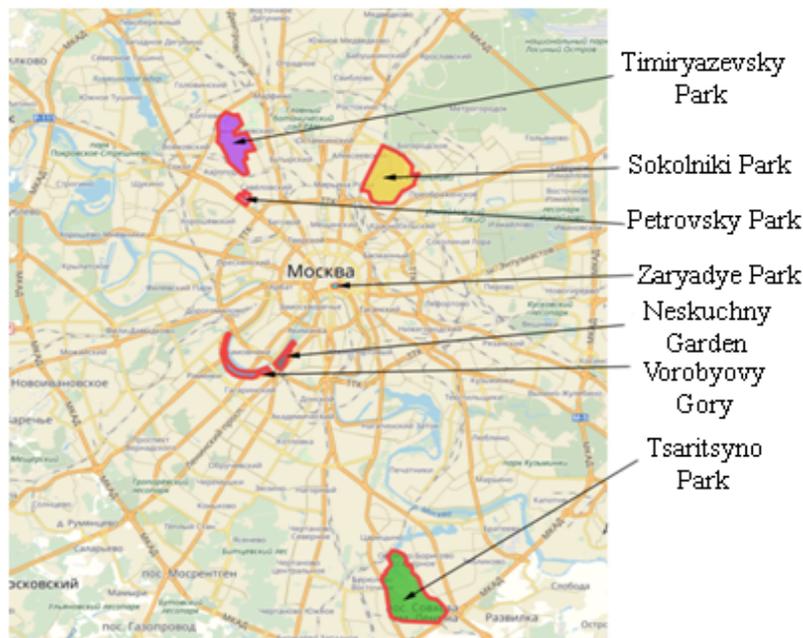


Fig. 1. Location of the studied parks in Moscow

Исходя из полученных на учетах данных, вычисляли следующие стандартные индексы видового богатства, разнообразия и выравнинности сообществ птиц [2].

1. Индекс видового богатства Маргалефа – по формуле 1:

$$D_{mf} = \frac{s-1}{\ln N}, \quad (1)$$

где s – число видов; N – число зарегистрированных особей.

2. Индекс Шеннона (формула 2):

$$H = -\sum_1^n p_i \ln p_i, \quad (2)$$

где $p_i = \frac{n_i}{N}$ – доля вида в биотопе; n_i – число зарегистрированных экземпляров каждого вида; N – сумма числа всех отмеченных особей.

3. Индекс выравнинности Пиелу (формула 3):

$$E = \frac{H}{\ln S}, \quad (3)$$

где H – индекс Шеннона; S – число видов в сообществе.

4. Индекс доминирования Симпсона (формула 4):

$$D = \sum_1^n \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}, \quad (4)$$

где n_i – число зарегистрированных экземпляров каждого вида; N – сумма числа всех отмеченных особей.

Для попарного сравнения авифаун всех парков рассчитывали индекс Сёренсена по формуле 5:

$$I_s = \frac{2a}{(b+c)}, \quad (5)$$

где a – число видов, общих для двух территорий; b и c – общее число видов на каждой из двух территорий.

Результаты и их обсуждение

Между годами не выявлены значимые различия у всех анализируемых показателей, что позволяет рассматривать усредненные значения (табл. 1).

Обнаружена сильная положительная корреляция между усредненным значением индекса Маргалефа и площадью парка ($r = 0,85$, $p < 0,05$). Другие показатели от площади парков практически не зависят (рис. 2).

В крупных парках выше емкость местообитаний, а также больше площадь самих местообитаний, что создает условия для заселения таких территорий большим числом видов птиц. Кроме того, у отдельных видов на крупных территориях могут образовываться массовые скопления: например, у водоплавающих в зимнее время – на незамерзающих участках водоемов. Все это способствует закономерному росту видового богатства с увеличением площади территории. Кроме того, на видовое богатство и численность видов может влиять возраст территории: в частности, зрелый и старый древостой создает большое количество экологических ниш для кроногнезdnиков и дуплогнезdnиков. В то же время один из самых высоких усредненных показателей видового богатства индекс Маргалефа, равный $4,78 \pm 0,51$, был получен для самого маленького и молодого исследуемого парка – «Зарядье». Стоит, однако, отметить, что большую часть видов на этой территории составили те, что встретились единично. В настоящее время парк «Зарядье» играет роль скорее временного, чем постоянного, местообитания для большинства зарегистрированных видов птиц.

Таблица 1

Усредненные показатели видового богатства, разнообразия и выравненности сообществ птиц

Показатель: Dmf – индекс Маргалефа; H – индекс Шеннона; E – индекс Пielу; D – индекс Симпсона	«Зарядье»	Петровский парк	«Нескучный сад»	«Воробьевы горы»	ЛОД	«Сокольники»	«Царицыно»
Dmf	$4,78 \pm 0,51$	$3,08 \pm 0,33$	$3,46 \pm 0,42$	$4,23 \pm 0,5$	$5,55 \pm 0,61$	$5,35 \pm 0,62$	$6,98 \pm 0,62$
H	$2,25 \pm 0,14$	$1,76 \pm 0,06$	$1,91 \pm 0,11$	$2,24 \pm 0,16$	$2,27 \pm 0,19$	$2,38 \pm 0,16$	$2,26 \pm 0,18$
E	$0,74 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,04$	$0,72 \pm 0,03$	$0,65 \pm 0,04$	$0,7 \pm 0,03$	$0,59 \pm 0,04$
D	$0,17 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,03$	$0,2 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,04$

Table 1

Averaged indexes of species richness diversity and evenness of bird communities

Index (Dmf – Margalef index. H – Shannon index. E – Pielou index. D – Simpson index)	Zaryadye Park	Petrovsky Park	Neskuchny Garden	Vorobyovy Gory	Timiryazevsky Park	Sokolniki	Tsaritsyno
Dmf	4.78 ± 0.51	3.08 ± 0.33	3.46 ± 0.42	4.23 ± 0.5	5.55 ± 0.61	5.35 ± 0.62	6.98 ± 0.62
H	2.25 ± 0.14	1.76 ± 0.06	1.91 ± 0.11	2.24 ± 0.16	2.27 ± 0.19	2.38 ± 0.16	2.26 ± 0.18
E	0.74 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.64 ± 0.04	0.72 ± 0.03	0.65 ± 0.04	0.7 ± 0.03	0.59 ± 0.04
D	0.17 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.25 ± 0.04	0.17 ± 0.03	0.2 ± 0.04	0.15 ± 0.02	0.22 ± 0.04

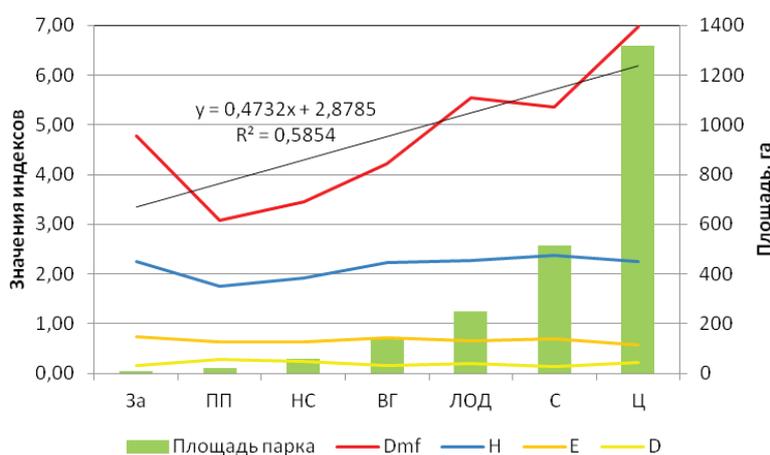


Рис. 2. Зависимость усредненных значений индексов Маргалефа, Шеннона, Пielу и Симпсона от площади исследуемых парков

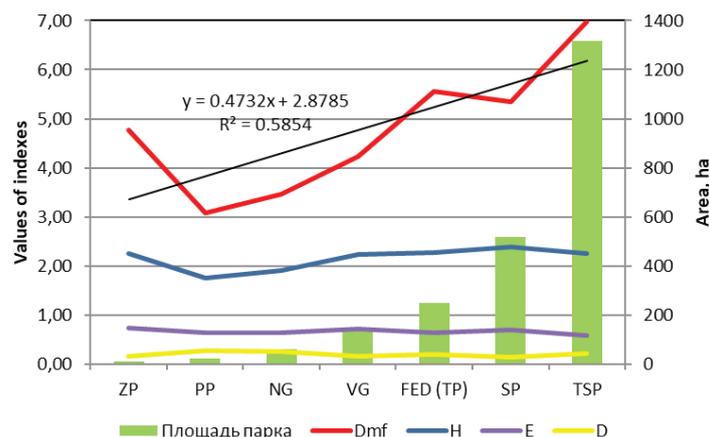


Fig. 2. Dependence of averaged values of Margalef, Shannon, Pielou and Simpson indices on the area of the studied parks

Индекс Шеннона, значения которого в наибольшей степени зависимы от присутствия и обилия малочисленных видов, выше всего в парке «Сокольники» – где, тем не менее, меньше всего единично встречающихся (7,7%) и отмечено сравнительно немного охраняемых (занесенных в Красную книгу Москвы [4]) видов – 15. Для этой же территории получены самые низкие усредненные значения индекса Симпсона, что указывает на слабовыраженное доминирование массовых и многочисленных видов.

Вообще в «Сокольниках» сообщество птиц является наиболее сбалансированным по всем показателям, в то время как в крупных парках, сравнимых с ПкиО «Сокольники» по площади и возрасту насаждений, а именно на территории ЛОД и в парке «Царицыно» больше видовое богатство, но ниже выравненность сообществ.

С одной стороны, низкая выравненность и ярко выраженное доминирование массовых и многочисленных видов на территории ЛОД и в «Царицыно» могут быть следствием скоплений водоплавающих птиц на незамерзающих участках водоемов, что не наблюдается в «Сокольниках». С другой стороны, в «Сокольниках» в зимние месяцы отмечаются массовые скопления других видов – в частности, чечетки *A. flammea* и полевого воробья *P. montanus*. Скорее всего сбалансированность сообщества птиц в «Сокольниках» объясняется другими причинами. Возможно, плавный переход между окультуренной южной частью парка и слабоизмененной северной, которая к тому же граничит с национальным парком «Лосиный остров», способствует проявлению своеобразного «опушечного эффекта» в масштабах всей территории. В сравнении с другими парками: как с относительно однородными лесными массивами (ЛОД, «Воробьевы горы»), так и с типичными городскими парками (Петровский парк, «Нескучный сад»), а также территориями с множеством обособленных ландшафтов («Царицыно»), – всю территорию «Сокольников» можно считать опушкой. Вероятно, примерно такой же опушкой можно считать территорию парка «Зарядье», в котором плавность перехода между различными ландшафтами обеспечена крайне малой площадью парка. Это предположение может объяснить высокое сходство показателей видового богатства, разнообразия и выравненности сообществ птиц между парками «Зарядье» и «Сокольники», различающимися более чем в 50 раз по площади и более чем в 80 раз – по возрасту, если вести отсчет от первых документальных упоминаний Сокольнической рощи.

В парке «Зарядье» отмечено самое высокое усредненное значение индекса Пиелу (0,74). Можно предположить, что на малой территории количество отмеченных особей, как самых многочисленных, так и средних по численности и малочисленных видов, сравнимо между собой на данном этапе развития авифауны парка. Весьма вероятно, что эта закономерность сохранится и в будущем, так как небольшая территория не позволит поддерживать обитание на ней большого числа особей.

Сезонная динамика анализируемых показателей является ясной между парками, но различается по степени колебаний самих значений. В наибольших пределах в течение года изменяются значения индексов Маргалефа и Шеннона, в то время как индекс Пиелу и индекс Симпсона меняются слабо (табл. 2).

Наибольшее значение индексы Маргалефа и Шеннона принимают в гнездовой сезон, а именно в июне, когда в парках отмечается больше всего видов птиц: как прилетевших мигрантов, так и слетков из ранних выводков. Минимальное значение этих индексов отмечается в феврале, когда обычно истощаются запасы кормовых ресурсов в парках, что приводит к снижению их привлекательности как для оседлых, так и для кочующих видов.

Значения индекса Пиелу чаще всего колеблются незначительно. Это позволяет предположить, что для всех исследуемых территорий характерны сформированные и достаточно постоянные сообщества птиц. Что касается значений индекса Симпсона, их повышение характерно обычно для двух временных отрезков: в зимнее время за счет скоплений водоплавающих в крупных парках с незамерзающими участками водоемов, в конце лета – за счет появления наибольшего числа молодых птиц.

Таблица 2

Сезонная динамика показателей видового богатства, разнообразия и выравненности сообществ птиц

«Зарядье»												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
D _{mp} , M±m	3,05±0,15	2,45±0,19	5,12±0,15	6,21±0,36	5,97±0,12	5,64±0,19	5,51±0,3	4,58±0,31	6,23±0,34	5,68±0,52	3,35±0,1	3,49±0,09
H, M±m	1,96±0,18	1,68±0,15	2,44±0,1	2,85±0,15	2,7±0,13	2,3±0,12	2,18±0,15	1,92±0,12	2,51±0,11	2,46±0,27	2,03±0,15	1,95±0,08
E, M±m	0,74±0,07	0,73±0,06	0,78±0,03	0,86±0,04	0,83±0,05	0,7±0,05	0,66±0,05	0,61±0,03	0,73±0,03	0,75±0,07	0,75±0,07	0,72±0,03
D, M±m	0,19±0,08	0,25±0,07	0,11±0,04	0,07±0,03	0,08±0,04	0,17±0,05	0,21±0,07	0,25±0,04	0,14±0,03	0,12±0,06	0,17±0,07	0,2±0,03
Петровский парк												
D _{mp} , M±m	2,1±0,23	2,73±0,14	1,87±0,24	3,07±0,15	4,48±0,25	3,54±0,18	4±0,29	4,29±0,26	3,05±0,21	2,9±0,1	2,86±0,3	1,99±0,1
H, M±m	1,8±0,14	1,79±0,13	1,76±0,07	1,86±0,15	1,95±0,17	1,95±0,18	1,7±0,17	1,62±0,2	1,47±0,16	1,88±0,16	1,72±0,09	1,57±0,14
E, M±m	0,73±0,02	0,66±0,03	0,74±0,01	0,65±0,05	0,61±0,05	0,65±0,06	0,55±0,06	0,54±0,07	0,53±0,06	0,68±0,06	0,63±0,04	0,66±0,08
D, M±m	0,2±0,04	0,21±0,04	0,21±0,02	0,28±0,05	0,26±0,05	0,26±0,05	0,36±0,07	0,36±0,09	0,4±0,07	0,22±0,07	0,27±0,04	0,29±0,07
«Нескучный сад»												
D _{mp} , M±m	2,97±0,2	2,32±0,1	2,5±0,38	4,62±0,24	5,41±0,16	5,13±0,49	3,15±0,22	3,09±0,16	3,23±0,18	3,87±0,22	3,31±0,13	1,86±0,13
H, M±m	2,18±0,07	1,85±0,02	1,91±0,1	2,32±0,13	2,04±0,2	2,09±0,23	1,64±0,07	1,41±0,07	1,55±0,13	1,89±0,17	2,15±0,04	1,89±0,19
E, M±m	0,74±0,03	0,69±0,02	0,69±0,02	0,71±0,06	0,59±0,06	0,61±0,05	0,56±0,05	0,48±0,02	0,53±0,06	0,6±0,05	0,71±0,03	0,76±0,05
D, M±m	0,14±0,02	0,2±0,01	0,2±0,01	0,18±0,05	0,3±0,07	0,26±0,07	0,32±0,05	0,42±0,04	0,35±0,06	0,25±0,06	0,15±0,01	0,19±0,07
«Воробьевы горы»												
D _{mp} , M±m	3,83±0,17	2,29±0,02	3,78±0,27	6,01±0,25	6±0,2	5,73±0,1	4,75±0,19	4,62±0,19	4,91±0,22	2,92±0,09	3,32±0,07	2,53±0,04
H, M±m	1,79±0,05	1,78±0,05	1,96±0,2	2,87±0,04	2,86±0,05	2,8±0,06	2,34±0,13	2,24±0,03	2,16±0,05	2,08±0,02	2,05±0,07	1,9±0,09
E, M±m	0,58±0,03	0,72±0,05	0,63±0,06	0,81±0,01	0,81±0,01	0,8±0,03	0,72±0,04	0,71±0,04	0,66±0,02	0,74±0,02	0,7±0,03	0,71±0,03
D, M±m	0,23±0,03	0,22±0,02	0,22±0,06	0,08±0,01	0,08±0,01	0,09±0,01	0,15±0,03	0,15±0,02	0,17±0,02	0,17±0,01	0,19±0,05	0,19±0,02
Лесная опытная дача												
D _{mp} , M±m	4,08±0,18	3,76±0,27	4,47±0,31	7,58±0,3	7,27±0,15	7,39±0,27	7,22±0,43	6,48±0,42	6,06±0,16	4,8±0,48	3,55±0,15	3,94±0,22
H, M±m	1,57±0,18	1,7±0,16	2,12±0,17	2,74±0,21	3,07±0,04	2,84±0,14	2,71±0,16	2,3±0,22	2,39±0,11	2,19±0,18	1,79±0,05	1,78±0,13
E, M±m	0,48±0,07	0,54±0,07	0,65±0,04	0,71±0,05	0,8±0,02	0,75±0,04	0,72±0,03	0,64±0,06	0,68±0,03	0,65±0,04	0,58±0,08	0,55±0,05
D, M±m	0,38±0,05	0,29±0,11	0,18±0,26	0,1±0,02	0,07±0,02	0,1±0,04	0,12±0,02	0,16±0,16	0,16±0,35	0,17±0,09	0,29±0,29	0,31±0,09
«Сокольники»												
D _{mf} , M±m	4,01±0,23	4,07±0,36	3,92±0,36	6,63±0,57	7,94±0,31	6,91±0,2	6,38±0,21	6,43±0,21	6,7±0,25	4,51±0,13	3,55±0,22	3,13±0,21
H, M±m	2,17±0,06	1,91±0,12	1,88±0,1	2,84±0,15	3,04±0,08	2,85±0,11	2,62±0,09	2,51±0,09	2,59±0,04	2,18±0,12	2,13±0,13	1,83±0,2
E, M±m	0,68±0,03	0,6±0,02	0,6±0,01	0,77±0,02	0,78±0,02	0,77±0,03	0,73±0,04	0,7±0,02	0,71±0,01	0,67±0,03	0,69±0,04	0,63±0,05
D, M±m	0,15±0,02	0,21±0,03	0,22±0,03	0,09±0,02	0,07±0,01	0,09±0,02	0,12±0,03	0,13±0,02	0,12±0,01	0,17±0,03	0,16±0,03	0,22±0,05
«Царицыно»												
D _{mf} , M±m	5,27±0,32	4,64±0,25	5,68±0,33	7,83±0,41	9,24±0,44	9,85±0,32	8,65±0,25	7,18±0,38	6,46±0,51	6,59±0,49	5,69±0,3	6,62±0,21
H, M±m	1,66±0,1	1,74±0,1	2,18±0,12	2,73±0,14	2,88±0,09	3,01±0,06	2,52±0,14	2,21±0,08	2,09±0,05	2,4±0,13	1,92±0,1	1,74±0,17
E, M±m	0,45±0,04	0,49±0,04	0,6±0,03	0,7±0,05	0,7±0,01	0,72±0,02	0,62±0,05	0,57±0,03	0,55±0,05	0,63±0,02	0,52±0,05	0,45±0,05
D, M±m	0,38±0,05	0,33±0,04	0,21±0,04	0,1±0,03	0,1±0,02	0,09±0,01	0,14±0,03	0,18±0,03	0,24±0,02	0,16±0,03	0,28±0,04	0,36±0,07

Table 2

Seasonal dynamics of species richness, diversity and evenness indexes in bird communities

Zaryadye Park												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
D _{mf} M±m	3.05±0.15	2.45±0.19	5.12±0.15	6.21±0.36	5.97±0.12	5.64±0.19	5.51±0.3	4.58±0.31	6.23±0.34	5.68±0.52	3.35±0.1	3.49±0.09
H. M±m	1.96±0.18	1.68±0.15	2.44±0.1	2.85±0.15	2.7±0.13	2.3±0.12	2.18±0.15	1.92±0.12	2.51±0.11	2.46±0.27	2.03±0.15	1.95±0.08
E. M±m	0.74±0.07	0.73±0.06	0.78±0.03	0.86±0.04	0.83±0.05	0.7±0.05	0.66±0.05	0.61±0.03	0.73±0.03	0.75±0.07	0.75±0.07	0.72±0.03
D. M±m	0.19±0.08	0.25±0.07	0.11±0.04	0.07±0.03	0.08±0.04	0.17±0.05	0.21±0.07	0.25±0.04	0.14±0.03	0.12±0.06	0.17±0.07	0.2±0.03
Petrovsky Park												
D _{mf} M±m	2.1±0.23	2.73±0.14	1.87±0.24	3.07±0.15	4.48±0.25	3.54±0.18	4±0.29	4.29±0.26	3.05±0.21	2.9±0.1	2.86±0.3	1.99±0.1
H. M±m	1.8±0.14	1.79±0.13	1.76±0.07	1.86±0.15	1.95±0.17	1.95±0.18	1.7±0.17	1.62±0.2	1.47±0.16	1.88±0.16	1.72±0.09	1.57±0.14
E. M±m	0.73±0.02	0.66±0.03	0.74±0.01	0.65±0.05	0.61±0.05	0.65±0.06	0.55±0.06	0.54±0.07	0.53±0.06	0.68±0.06	0.63±0.04	0.66±0.08
D. M±m	0.2±0.04	0.21±0.04	0.21±0.02	0.28±0.05	0.26±0.05	0.26±0.05	0.36±0.07	0.36±0.09	0.4±0.07	0.22±0.07	0.27±0.04	0.29±0.07
Neskuchny Garden												
D _{mf} M±m	2.97±0.2	2.32±0.1	2.5±0.38	4.62±0.24	5.41±0.16	5.13±0.49	3.15±0.22	3.09±0.16	3.23±0.18	3.87±0.22	3.31±0.13	1.86±0.13
H. M±m	2.18±0.07	1.85±0.02	1.91±0.1	2.32±0.13	2.04±0.2	2.09±0.23	1.64±0.07	1.41±0.07	1.55±0.13	1.89±0.17	2.15±0.04	1.89±0.19
E. M±m	0.74±0.03	0.69±0.02	0.69±0.02	0.71±0.06	0.59±0.06	0.61±0.05	0.56±0.05	0.48±0.02	0.53±0.06	0.6±0.05	0.71±0.03	0.76±0.05
D. M±m	0.14±0.02	0.2±0.01	0.2±0.01	0.18±0.05	0.3±0.07	0.26±0.07	0.32±0.05	0.42±0.04	0.35±0.06	0.25±0.06	0.15±0.01	0.19±0.07
Vorobyovy Gory												
D _{mf} M±m	3.83±0.17	2.29±0.02	3.78±0.27	6.01±0.25	6±0.2	5.73±0.1	4.75±0.19	4.62±0.19	4.91±0.22	2.92±0.09	3.32±0.07	2.53±0.04
H. M±m	1.79±0.05	1.78±0.05	1.96±0.2	2.87±0.04	2.86±0.05	2.8±0.06	2.34±0.13	2.24±0.03	2.16±0.05	2.08±0.02	2.05±0.07	1.9±0.09
E. M±m	0.58±0.03	0.72±0.05	0.63±0.06	0.81±0.01	0.81±0.01	0.8±0.03	0.72±0.04	0.71±0.04	0.66±0.02	0.74±0.02	0.7±0.03	0.71±0.03
D. M±m	0.23±0.03	0.22±0.02	0.22±0.06	0.08±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01	0.15±0.03	0.15±0.02	0.17±0.02	0.17±0.01	0.19±0.05	0.19±0.02
Timiryazevsky Park												
D _{mf} M±m	4.08±0.18	3.76±0.27	4.47±0.31	7.58±0.3	7.27±0.15	7.39±0.27	7.22±0.43	6.48±0.42	6.06±0.16	4.8±0.48	3.55±0.15	3.94±0.22
H. M±m	1.57±0.18	1.7±0.16	2.12±0.17	2.74±0.21	3.07±0.04	2.84±0.14	2.71±0.16	2.3±0.22	2.39±0.11	2.19±0.18	1.79±0.05	1.78±0.13
E. M±m	0.48±0.07	0.54±0.07	0.65±0.04	0.71±0.05	0.8±0.02	0.75±0.04	0.72±0.03	0.64±0.06	0.68±0.03	0.65±0.04	0.58±0.08	0.55±0.05
D. M±m	0.38±0.05	0.29±0.11	0.18±0.26	0.1±0.02	0.07±0.02	0.1±0.04	0.12±0.02	0.16±0.16	0.16±0.35	0.17±0.09	0.29±0.29	0.31±0.09
Sokolniki Park												
Dmf. M±m	4.01±0.23	4.07±0.36	3.92±0.36	6.63±0.57	7.94±0.31	6.91±0.2	6.38±0.21	6.43±0.21	6.7±0.25	4.51±0.13	3.55±0.22	3.13±0.21
H. M±m	2.17±0.06	1.91±0.12	1.88±0.1	2.84±0.15	3.04±0.08	2.85±0.11	2.62±0.09	2.51±0.09	2.59±0.04	2.18±0.12	2.13±0.13	1.83±0.2
E. M±m	0.68±0.03	0.6±0.02	0.6±0.01	0.77±0.02	0.78±0.02	0.77±0.03	0.73±0.04	0.7±0.02	0.71±0.01	0.67±0.03	0.69±0.04	0.63±0.05
D. M±m	0.15±0.02	0.21±0.03	0.22±0.03	0.09±0.02	0.07±0.01	0.09±0.02	0.12±0.03	0.13±0.02	0.12±0.01	0.17±0.03	0.16±0.03	0.22±0.05
Tsaritsyno Park												
Dmf. M±m	5.27±0.32	4.64±0.25	5.68±0.33	7.83±0.41	9.24±0.44	9.85±0.32	8.65±0.25	7.18±0.38	6.46±0.51	6.59±0.49	5.69±0.3	6.62±0.21
H. M±m	1.66±0.1	1.74±0.1	2.18±0.12	2.73±0.14	2.88±0.09	3.01±0.06	2.52±0.14	2.21±0.08	2.09±0.05	2.4±0.13	1.92±0.1	1.74±0.17
E. M±m	0.45±0.04	0.49±0.04	0.6±0.03	0.7±0.05	0.7±0.01	0.72±0.02	0.62±0.05	0.57±0.03	0.55±0.05	0.63±0.02	0.52±0.05	0.45±0.05
D. M±m	0.38±0.05	0.33±0.04	0.21±0.04	0.1±0.03	0.1±0.02	0.09±0.01	0.14±0.03	0.18±0.03	0.24±0.02	0.16±0.03	0.28±0.04	0.36±0.07

По всем показателям самыми богатыми, разнообразными и выравненными в течение всего года представляются сообщества птиц в парке «Сокольники», на территории ЛОД и в «Царицыно», наименее богатыми, разнообразными и выравненными – сообщества птиц в Петровском парке и в «Нескучном саду». Следует еще раз отметить, что показатели видового богатства, разнообразия и выравненности сообществ птиц у самого маленького и молодого парка – «Зарядье» – сравнимы с таковыми в более крупных и старых парках. Можно заключить, что «Зарядье» и подобные этой территории малые парки могут быть перспективными территориями для сохранения разнообразия птиц и других животных Москвы.

Анализ сходства сообществ птиц на основании значений индекса Сёренсена показывает, что всем исследуемым территориям свойственны сравнительно обособленные сообщества птиц (табл. 3).

Таблица 3

Усредненные показатели сходства сообществ птиц

Парки	I, M±m	Расстояние между ближайшими точками парков, км
«Зарядье»-«Петровский»	0,6±0,04	6,1
«Зарядье»-«Нескучный сад»	0,62±0,03	3,5
«Зарядье»-«Воробьёвы горы»	0,56±0,03	5,4
«Зарядье»-Лесная опытная дача	0,51±0,03	7,4
«Зарядье»-«Сокольники»	0,54±0,03	4,8
«Зарядье»-«Царицыно»	0,48±0,03	14,5
«Петровский»-«Нескучный сад»	0,72±0,03	7,8
«Петровский»-«Воробьёвы горы»	0,65±0,03	8,9
«Петровский»-Лесная опытная дача	0,58±0,02	0,9
«Петровский»-«Сокольники»	0,65±0,02	5,8
«Петровский»-«Царицыно»	0,49±0,02	20,3
«Нескучный сад»-«Воробьёвы горы»	0,76±0,02	0,4
«Нескучный сад»-Лесная опытная дача	0,65±0,03	10,4
«Нескучный сад»-«Сокольники»	0,67±0,03	8,7
«Нескучный сад»-«Царицыно»	0,57±0,03	11,5
«Воробьёвы горы»-Лесная опытная дача	0,7±0,02	10,5
«Воробьёвы горы»-«Сокольники»	0,71±0,03	10,5
«Воробьёвы горы»-«Царицыно»	0,62±0,03	11,5
Лесная опытная дача-«Сокольники»	0,8±0,02	6,0
Лесная опытная дача-«Царицыно»	0,74±0,02	22,0
«Сокольники»-«Царицыно»	0,72±0,02	19,0

Average similarity indexes of bird communities

Parks	I, M±m	Minimal distance between parks. km
Zaryadye Park – Petrovsky Park	0.6±0.04	6.1
Zaryadye Park – Neskuchny Garden	0.62±0.03	3.5
Zaryadye Park – Vorobyovy Gory	0.56±0.03	5.4
Zaryadye Park – Timiryazevsky Park	0.51±0.03	7.4
Zaryadye Park – Sokolniki Park	0.54±0.03	4.8
Zaryadye Park – Tsaritsyno Park	0.48±0.03	14.5
Petrovsky Park – Neskuchny Garden	0.72±0.03	7.8
Petrovsky Park – Vorobyovy Gory	0.65±0.03	8.9
Petrovsky Park – Timiryazevsky Park	0.58±0.02	0.9
Petrovsky Park – Sokolniki Park	0.65±0.02	5.8
Petrovsky Park – Tsaritsyno Park	0.49±0.02	20.3
Neskuchny Garden – Vorobyovy Gory	0.76±0.02	0.4
Neskuchny Garden – Timiryazevsky Park	0.65±0.03	10.4
Neskuchny Garden – Sokolniki Park	0.67±0.03	8.7
Neskuchny Garden – Tsaritsyno Park	0.57±0.03	11.5
Vorobyovy Gory – Timiryazevsky Park	0.7±0.02	10.5
Vorobyovy Gory – Sokolniki Park	0.71±0.03	10.5
Vorobyovy Gory – Tsaritsyno Park	0.62±0.03	11.5
Timiryazevsky Park – Sokolniki Park	0.8±0.02	6.0
Timiryazevsky Park – Tsaritsyno Park	0.74±0.02	22.0
Sokolniki Park – Tsaritsyno Park	0.72±0.02	19.0

Усредненные значения индекса Сёренсена указывают на сравнительно высокую степень обособленности сообществ птиц в малых и крупных парках. Сообщества птиц крупных парков: «Воробьёвых гор», ЛОД, «Сокольников» и «Царицыно» – наиболее сходны между собой несмотря на значительные различия в видовом составе. При этом сходство сообществ в малых парках («Зарядье», «Нескучный сад», Петровский парк) ниже, несмотря на примерно одинаковый набор обычных видов, которые встречаются практически во всех парках, что можно связать с более выраженными колебаниями сходства сообществ птиц в течение года в малых парках (табл. 4). Самые низкие значения индекса Сёренсена получены, тем не менее, при сравнении сообществ птиц малых и крупных парков: в частности, для Петровского парка

и «Царицыно», «Зарядье» и «Царицыно», «Зарядье» и ЛОД. Это можно объяснить, с одной стороны, тем, что в малых парках обычно невелико и число видов, с другой стороны – тем, что сообщества птиц в них более обособлены, чем в крупных парках. Это справедливо прежде всего для парка «Зарядье», где отмечались виды, которые не встречались больше нигде, а также происходили встречи некоторых более обычных видов в то время, когда они не встречались на других территориях.

Несмотря на то, что самое высокое значение индекса Сёренсена было получено, в том числе, для самых близких друг к другу парков («Нескучного сада» и заказника «Воробьёвы горы»), усредненные значения этого индекса не коррелируют с расстоянием между ближайшими точками парков – как в течение всего года, так и в отдельно взятые месяцы.

Сходство сообществ птиц, как правило, выше в гнездовой, чем в негнездовой периоды. Это можно объяснить тем, что в негнездовой период чаще происходят единичные встречи пролетных и кочующих видов, а также меньше число регистрируемых видов в целом.

Уже описанные закономерности распределения сходства сообществ птиц являются справедливыми не только для усредненных значений индекса Сёренсена, но и для значений этого индекса в разные месяцы.

Таблица 4

Сезонная динамика сходства сообществ птиц

Парки	I_s											
	январь	фев.	мар.	апр.	май	июн.	июл.	авг.	сен.	окт.	ноя.	дек.
«Зарядье»-«Петровский»	0,45	0,61	0,59	0,78	0,70	0,50	0,77	0,52	0,55	0,64	0,53	0,50
«Зарядье»-«Нескучный сад»	0,48	0,61	0,69	0,72	0,68	0,63	0,68	0,55	0,51	0,65	0,57	0,56
«Зарядье»-«Воробьёвы горы»	0,38	0,40	0,67	0,62	0,61	0,48	0,67	0,58	0,55	0,62	0,55	0,50
«Зарядье»-Лесная опытная дача	0,32	0,38	0,59	0,60	0,54	0,48	0,54	0,52	0,57	0,62	0,44	0,46
«Зарядье»-«Сокольники»	0,40	0,38	0,56	0,60	0,59	0,56	0,66	0,53	0,62	0,63	0,50	0,44
«Зарядье»-«Царицыно»	0,36	0,37	0,55	0,53	0,51	0,47	0,49	0,55	0,58	0,58	0,36	0,35
«Петровский»-«Нескучный сад»	0,71	0,87	0,67	0,76	0,81	0,71	0,68	0,70	0,69	0,65	0,54	0,78
«Петровский»-«Воробьёвы горы»	0,65	0,67	0,53	0,64	0,73	0,70	0,63	0,62	0,60	0,79	0,51	0,62
«Петровский»-Лесная опытная дача	0,56	0,62	0,51	0,52	0,65	0,58	0,60	0,62	0,59	0,61	0,53	0,54
«Петровский»-«Сокольники»	0,65	0,62	0,59	0,59	0,67	0,66	0,72	0,67	0,57	0,62	0,68	0,67
«Петровский»-«Царицыно»	0,46	0,56	0,44	0,51	0,58	0,47	0,52	0,49	0,49	0,49	0,49	0,37
«Нескучный сад»-«Воробьёвы горы»	0,73	0,74	0,72	0,84	0,84	0,83	0,71	0,79	0,74	0,73	0,75	0,67
«Нескучный сад»-Лесная опытная дача	0,65	0,62	0,68	0,65	0,77	0,73	0,53	0,68	0,63	0,67	0,60	0,53
«Нескучный сад»-«Сокольники»	0,64	0,56	0,72	0,72	0,73	0,83	0,58	0,62	0,58	0,68	0,70	0,58
«Нескучный сад»-«Царицыно»	0,61	0,56	0,55	0,61	0,65	0,64	0,49	0,51	0,56	0,64	0,61	0,39
«Воробьёвы горы»-Лесная опытная дача	0,73	0,61	0,78	0,71	0,74	0,78	0,68	0,75	0,68	0,68	0,59	0,63
«Воробьёвы горы»-«Сокольники»	0,64	0,61	0,74	0,75	0,78	0,85	0,74	0,63	0,66	0,70	0,73	0,59
«Воробьёвы горы»-«Царицыно»	0,61	0,51	0,74	0,69	0,69	0,68	0,59	0,61	0,64	0,55	0,63	0,47
Лесная опытная дача-«Сокольники»	0,77	0,71	0,82	0,71	0,83	0,80	0,81	0,79	0,85	0,86	0,77	0,76
Лесная опытная дача-«Царицыно»	0,75	0,71	0,78	0,73	0,73	0,73	0,81	0,71	0,78	0,75	0,63	0,69
«Сокольники»-«Царицыно»	0,71	0,75	0,74	0,72	0,79	0,77	0,72	0,69	0,78	0,68	0,70	0,56

Seasonal dynamics of similarity of bird communities

Парки	I _s											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Zaryadye Park – Petrovsky Park	0.45	0.61	0.59	0.78	0.70	0.50	0.77	0.52	0.55	0.64	0.53	0.50
Zaryadye Park – Neskuchny Garden	0.48	0.61	0.69	0.72	0.68	0.63	0.68	0.55	0.51	0.65	0.57	0.56
Zaryadye Park – Vorobyovy Gory	0.38	0.40	0.67	0.62	0.61	0.48	0.67	0.58	0.55	0.62	0.55	0.50
Zaryadye Park – Timiryazevsky Park	0.32	0.38	0.59	0.60	0.54	0.48	0.54	0.52	0.57	0.62	0.44	0.46
Zaryadye Park – Sokolniki Park	0.40	0.38	0.56	0.60	0.59	0.56	0.66	0.53	0.62	0.63	0.50	0.44
Zaryadye Park – Tsaritsyno Park	0.36	0.37	0.55	0.53	0.51	0.47	0.49	0.55	0.58	0.58	0.36	0.35
Petrovsky Park – Neskuchny Garden	0.71	0.87	0.67	0.76	0.81	0.71	0.68	0.70	0.69	0.65	0.54	0.78
Petrovsky Park – Vorobyovy Gory	0.65	0.67	0.53	0.64	0.73	0.70	0.63	0.62	0.60	0.79	0.51	0.62
Petrovsky Park – Timiryazevsky Park	0.56	0.62	0.51	0.52	0.65	0.58	0.60	0.62	0.59	0.61	0.53	0.54
Petrovsky Park – Sokolniki Park	0.65	0.62	0.59	0.59	0.67	0.66	0.72	0.67	0.57	0.62	0.68	0.67
Petrovsky Park – Tsaritsyno Park	0.46	0.56	0.44	0.51	0.58	0.47	0.52	0.49	0.49	0.49	0.49	0.37
Neskuchny Garden – Vorobyovy Gory	0.73	0.74	0.72	0.84	0.84	0.83	0.71	0.79	0.74	0.73	0.75	0.67
Neskuchny Garden – Timiryazevsky Park	0.65	0.62	0.68	0.65	0.77	0.73	0.53	0.68	0.63	0.67	0.60	0.53
Neskuchny Garden – Sokolniki Park	0.64	0.56	0.72	0.72	0.73	0.83	0.58	0.62	0.58	0.68	0.70	0.58
Neskuchny Garden – Tsaritsyno Park	0.61	0.56	0.55	0.61	0.65	0.64	0.49	0.51	0.56	0.64	0.61	0.39
Vorobyovy Gory – Timiryazevsky Park	0.73	0.61	0.78	0.71	0.74	0.78	0.68	0.75	0.68	0.68	0.59	0.63
Vorobyovy Gory – Sokolniki Park	0.64	0.61	0.74	0.75	0.78	0.85	0.74	0.63	0.66	0.70	0.73	0.59
Vorobyovy Gory – Tsaritsyno Park	0.61	0.51	0.74	0.69	0.69	0.68	0.59	0.61	0.64	0.55	0.63	0.47
Timiryazevsky Park – Sokolniki Park	0.77	0.71	0.82	0.71	0.83	0.80	0.81	0.79	0.85	0.86	0.77	0.76
Timiryazevsky Park – Tsaritsyno Park	0.75	0.71	0.78	0.73	0.73	0.73	0.81	0.71	0.78	0.75	0.63	0.69
Sokolniki Park – Tsaritsyno Park	0.71	0.75	0.74	0.72	0.79	0.77	0.72	0.69	0.78	0.68	0.70	0.56

Выводы

Показано, что как в крупных, так и в малых исследованных парках сформированы достаточно обособленные и постоянные сообщества птиц. В крупных парках, как правило, они богаче, разнообразнее и более выравнены, чем в малых, за счет более высокой емкости местообитаний и большей площади самих местообитаний. В наибольших пределах как между различными территориями, так и внутри каждого отдельно взятого парка колеблются показатели видового богатства (индекс Маргалефа) и разнообразия (индекс Шеннона) сообществ, что связано с обычными изменениями видового состава и числа регистрируемых особей в течение года.

В гнездовой период видовое богатство и разнообразие сообществ чаще всего возрастают, в негнездовой – снижаются. Показатели же выравненности и доминирования в сообществе (индекс Пиелу и индекс Симпсона) колеблются в незначительных пределах, что указывает на сформированность сообществ птиц в исследуемых парках. Это справедливо как для старых территорий, так и для нового парка «Зарядье», авифауна которого обрела постоянный облик уже в первые годы его существования. Кроме

того, по усредненным показателям сообществ птиц парк «Зарядье» оказался сравнимым с гораздо более крупными и старыми территориями – в частности, с «Сокольниками». Вероятно, это сходство можно объяснить своеобразным «опушечным эффектом» в масштабах целых парков, а не отдельных их частей.

Сходство самих сообществ птиц в среднем составляет 50-70%. Оно выше между крупными парками, чем между малыми или между крупными и малыми, несмотря на то, что на крупных территориях сильнее различается видовой состав птиц, в то время как в малых наблюдается примерно одинаковый набор обычных видов. При этом стоит отметить, что именно в некоторых малых парках – таких, как «Зарядье», иногда отмечаются виды, которые не встречались за время исследований больше нигде, что и отражается на общей картине.

Можно сделать вывод о том, что озелененные зоны г. Москвы являются благоприятными территориями для формирования обособленных, разнообразных и выравненных сообществ птиц. И новые парки малой площади, и старые крупные парки могут способствовать повышению и сохранению разнообразия птиц и биоразнообразия мегаполиса в целом.

Список источников

1. Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // В кн.: Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967:66-75.

2. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях: монография. М.: Наука, 1982:287.

3. Красная книга города Москвы: 3-е изд., перераб. и доп. / Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; Комиссия по редким и находящимся под угрозой исчезновения в условиях города Москвы видам животных и растений. М.: ООО «ОСТ ПАК новые технологии», 2022:848.

Сведения об авторе

Александра Алексеевна Василевская, ассистент кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: AlexVas13b@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2194-2112>

Статья поступила в редакцию 14.09.2023
Одобрена после рецензирования 21.11.2023
Принята к публикации 30.11.2023

References

1. *Ravkin Yu.S.* On the methodology for counting birds in forest landscapes. In the book: The nature of foci of tick-borne encephalitis in Altai. Novosibirsk, 1967:66-75. (In Rus.)

2. *Pesenko Yu.A.* Principles and methods of quantitative analysis in faunal research: monograph. M.: Nauka, 1982:287. (In Rus.)

3. Red Book of the City of Moscow. 3rd ed., rev. and add. Department of Natural Resources and Environmental Protection of the City of Moscow; Commission on Rare and Endangered Species of Animals and Plants in Moscow. M.: ООО “OST PAK novye tekhnologii”, 2022:848. (In Rus.)

Information about the author

Alexandra A. Vasilevskaya, Assistant of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: AlexVas13b@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2194-2112>

The article was submitted to the editorial office 14 Sep 2023
Approved after reviewing 21 Nov 2023
Accepted for publication 30 Nov 2023

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья

УДК 636: 619: 616.9: 636.085.34: 579.84

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77>



Заболееваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом

Сергей Степанович Козак¹, Евгения Сергеевна Баранович², Юлия Александровна Козак²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» (ВНИИПП); Московская обл., г.о. Солнечногорск, р.п. Ржавки, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Степанович Козак; e-mail: viippkozak@gmail.com

Аннотация. Профилактика и снижение уровня заболеваемости животных и птицы зооантропонозными болезнями являются условием для функционирования животноводческих и птицеводческих хозяйств. Это актуально и в отношении заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом, так как животноводческая (в том числе птицеводческая) отрасль производит продукцию, которая при определенных условиях может быть контаминирована сальмонеллами и являться опасной для человека. Проведение широкого комплекса профилактических мероприятий, направленных на защиту населения от болезней, общих для человека и животных, и обеспечение ветеринарно-санитарной безопасности животноводческой и птицеводческой продукции являются главными задачами ветеринарных специалистов в обеспечении биобезопасности. В статье приведены результаты анализа заболеваемости сельскохозяйственных животных (крупного рогатого скота (КРС), мелкого рогатого скота (МРС), свиней, лошадей) и птицы сальмонеллезом в животноводческих и птицеводческих хозяйствах нашей страны и данные лабораторного исследования на выявление сальмонелл в биологическом материале разных видов животных и птицы в период с 2018 по 2020 гг. с учетом данных Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Ретроспективный анализ заболеваемости в хозяйствах России показал, что за исследуемый период сальмонеллез регистрировали у сельскохозяйственных животных и птицы в 91 неблагополучном пункте, где общее количество заболевших животных и птицы составило 422 гол. При проведении бактериологических исследований на сальмонеллез биологического материала сельскохозяйственных животных и птицы изучены 827 732 пробы. В 2926 пробах подтвержден сальмонеллез и обнаружены следующие сероварианты: *S. enteritidis*, *S. typhimurium*, *S. dublin*, *S. gallinarum*, *S. pullorum*, *S. abortus equi*, *S. infantis*.

Ключевые слова: сальмонеллез, сельскохозяйственные животные и птица, анализ заболеваемости, лабораторные исследования, сальмонеллы, безопасность.

Для цитирования: 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>

© Козак С.С., Баранович Е.С., Козак Ю.А., 2023

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77>



Salmonellosis Incidence in Farm Animals and Poultry

Sergey S. Kozak¹, Evgeniya S. Baranovich², Yulia A. Kozak²

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Poultry Institute” of Russian Academy of Sciences (ARSRIPI), Rzhavki settlement, Solnechnogorsk district, Moscow Region, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Sergey S. Kozak; e-mail: viippkozak@gmail.com

Abstract. Preventing and reducing the incidence of zoonotic diseases in animals and birds is a prerequisite for the functioning of livestock and poultry farms. This is also relevant to the incidence of salmonellosis in farm animals and poultry, as the livestock (including poultry) industry produces products that may be contaminated with salmonella

and dangerous to humans under certain conditions. The implementation of a wide range of preventive measures aimed at protecting the population from diseases common to humans and animals, and ensuring the veterinary and sanitary safety of livestock and poultry products are the main tasks of veterinary professionals in ensuring biological security. The article presents the results of the analysis of the incidence of salmonellosis in farm animals (cattle), small cattle, pigs, horses and poultry in livestock and poultry farms of our country, and the data of laboratory tests for the detection of salmonella in biological material of various types of animals and poultry in the period from 2018 to 2020, taking into account the data of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. The retrospective analysis of the incidence of the disease in Russian farms showed that during the study period, salmonellosis in farm animals and poultry was registered in 91 unfavourable points, where the total number of diseased animals and poultry was 422 heads. Bacteriological examinations of biological material from farm animals and poultry for salmonellosis were carried out on a total of 827,732 samples during the study period; salmonellosis was confirmed in 2926 samples and the following serovarieties were detected: *S. enteritidis*, *S. typhimurium*, *S. dublin*, *S. gallinarum*, *S. pullorum*, *S. abortus equi*, *S. infantis*.

Key words: salmonellosis, farm animals and poultry, analysis of the incidence of disease, laboratory tests, salmonellae, safety.

For citation: Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Salmonellosis Incidence in Farm Animals and Poultry. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:71-77. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77> (In Rus.).

© Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A., 2023

Введение

По-прежнему особое значение для животноводческих и птицеводческих хозяйств имеют снижение уровня заболеваемости животных и птицы зооантропонозными болезнями и их профилактика. Эти вопросы остаются актуальными и в отношении заболеваемости сальмонеллезом разных видов животных и птицы ввиду того, что животноводческая (в том числе птицеводческая) отрасль производит продукцию, которая при определенных условиях может быть контаминирована сальмонеллами и являться опасной для человека [1-3].

До сих пор большую группу острых инфекционных заболеваний животных и птицы представляют сальмонеллезы, возбудителями которых являются многочисленные представители рода *Salmonella*, относящиеся к семейству Enterobacteriaceae и подразделяющиеся по набору антигенов на 46 серогрупп и более чем на 2600 серотипов. Известно, что название бактерии происходит от имени американского микробиолога Даниеля Сальмона, открывшего ее в 1885 г. Ряд ученых сходится во мнении о том, что среди сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом болеет преимущественно молодняк (телята, поросята, ягнята, жеребята, цыплята, утята, гусята, индюшата и др.). Болезнь проявляется поражением желудочно-кишечного тракта и септицемией, а при подостром и хроническом течении – пневмонией и артритом. У овец, кобыл (реже – коров) сальмонеллез вызывает аборт.

Сальмонеллы обитают в кишечном канале животных, птицы и человека, а также во внешней среде. Морфологически они представляют собой мелкие палочки с закругленными концами длиной 2-4 мкм, шириной 0,5 мкм. Все сальмонеллы, за небольшим исключением (*S. pullorum*, *S. gallinarum*), подвижны, грамотрицательны, спор и капсул не образуют, являются аэробами или факультативными анаэробами, оптимальная температура роста составляет 37°C.

Основные возбудители сальмонеллеза животных относятся к серогруппам В, С и Д. Сальмонеллы довольно устойчивы во внешней среде и способны в течение длительного времени жить в пыли, высушенном кале и навозе, в почве, воде и в животных кормах, сохраняя вирулентность. Установлено, что при биотермическом обеззараживании навоза сальмонеллы инактивируются в течение 3 недель. Для полного обеззараживания мяса, обсемененного сальмонеллами, необходимо внутри его кусков температуру довести не ниже 80°C и поддерживать ее на этом уровне не менее 10 мин [1, 4-6].

Источниками возбудителя инфекции являются больные и переболевшие животные и птица, которые могут быть носителями сальмонелл в течение длительного времени (сальмонеллоносителями), включая грызунов и диких птиц. Факторами передачи возбудителя сальмонеллезной инфекции являются инфицированные корма, вода, подстилка, предметы ухода за животными и птицей, оборудование, одежда и обувь. У птиц возможна трансвариальная передача сальмонелл. Большинство сальмонелл патогенно как для животных и птиц, так и для человека. Сальмонеллы, являясь обитателем кишечника, могут попадать на поверхность туши животных и тушки птицы, скорлупу яиц, что в большинстве случаев при некачественной переработке животноводческой (в том числе птицеводческой) продукции и ее неправильном хранении может приводить к возникновению пищевых токсикоинфекций у людей.

Таким образом, от эпизоотического благополучия по сальмонеллезу животных и птицы в российских животноводческих и птицеводческих хозяйствах зависит эпидемическая обстановка по острым кишечным инфекциям у людей, передаваемых через мясо и мясопродукты, молоко и молочные продукты, яйца и другие продукты животного происхождения [1, 4, 5, 7-9].

Цель исследований – анализ данных за 3 года по заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом на территории нашей страны с учетом выявления неблагополучных пунктов и количества заболевших животных и птицы, а также данных бактериологических исследований на сальмонеллез проб биологического материала сельскохозяйственных животных и птицы.

Методика исследований

Проведен ретроспективный анализ заболеваемости сельскохозяйственных животных (крупного рогатого скота (КРС), мелкого рогатого скота (МРС), свиней, лошадей) и птицы сальмонеллезами в животноводческих и птицеводческих хозяйствах нашей страны в период с 2018 по 2020 гг. с учетом данных Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Разработана линейно-графическая схема-модель заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом в условиях животноводческих и птицеводческих хозяйств РФ за исследуемый период. Проанализировали данные лабораторных исследований на сальмонеллез проб биологического материала разных видов животных и птицы в 2018-2020 гг. в условиях госветучреждений.

Результаты и их обсуждение

Проведен ретроспективный анализ заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезами в животноводческих и птицеводческих хозяйствах нашей страны в период с 2018 по 2020 гг. с учетом выявления неблагополучных пунктов и количества заболевших. Всего за весь исследуемый период сальмонеллез регистрировали: у крупного рогатого скота – в 37 неблагополучных пунктах; у мелкого рогатого скота – в 9 неблагополучных пунктах; у свиней – в 5 пунктах; у лошадей – в 23 неблагополучных пунктах; у птицы – в 17 неблагополучных пунктах. Количество заболевших животных составило: у КРС – 150 гол.; у МРС – 52 гол.; у свиней – 10 гол.; у лошадей – 39 гол.; у птицы – 171 гол.

Результаты анализа заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы представлены в таблице. Из данных таблицы следует, что на протяжении рассматриваемого периода ежегодно выявляли сальмонеллез у крупного рогатого скота, свиней, лошадей и птицы. У КРС наибольшее количество заболевших животных сальмонеллезом регистрировали в 2019 г. – 72 гол., или 48% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период.

В 2018 г. количество заболевших сальмонеллезом КРС составило 58 гол., или 38,7% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период.

Наименьшее количество заболевших сальмонеллезом КРС выявили в 2020 г. – 20 гол., или 13,3% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период. За весь исследуемый период количество неблагополучных пунктов по сальмонеллезу КРС достигало 10-16.

Таблица

Ретроспективный анализ заболеваемости сальмонеллезом животных и птицы в России

Показатели неблагополучия по сальмонеллезу сельскохозяйственных животных и птицы		Название разных видов сельскохозяйственных животных и птицы				
		Крупный рогатый скот (КРС)	Мелкий рогатый скот (МРС)	Свиньи	Лошади	Птица
2018 г.	Количество заболевших, гол.	58	33	3	11	33
	Неблагополучных пунктов, ед.	16	2	1	7	7
2019 г.	Количество заболевших, гол.	72	–	4	23	116
	Неблагополучных пунктов, ед.	11	–	3	13	6
2020 г.	Количество заболевших, гол.	20	19	3	5	22
	Неблагополучных пунктов, ед.	10	7	1	3	4
Всего	Количество заболевших, гол.	150	52	10	39	171
	Неблагополучных пунктов, ед.	37	9	5	23	17

Table

Retrospective analysis of salmonellosis incidence in animals and poultry of animals and poultry in Russia

Indicators of salmonellosis diseases in farm animals and poultry		Different types of farm animals and poultry				
		Cattle	Small cattle	Pigs	Horses	Poultry
2018	Number of diseased, head	58	33	3	11	33
	Unfavourable points, pcs.	16	2	1	7	7
2019	Number of diseased, head	72	–	4	23	116
	Unfavourable points, pcs.	11	–	3	13	6
2020	Number of diseased, head	20	19	3	5	22
	Unfavourable points, pcs.	10	7	1	3	4
Total	Number of diseased, head	150	52	10	39	171
	Unfavourable points, pcs.	37	9	5	23	17

В 2018 г. в 2 неблагополучных пунктах выявили наибольшее количество заболевших животных среди МРС за 3 исследуемых года, что составило 33 гол. (63,5% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период). В 2019 г. не выявили вновь зарегистрированные неблагополучные пункты и заболевших животных среди МРС. В 2020 г. выявили наименьшее количество заболевших сальмонеллезом МРС – 19 гол. (36,5% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период) в 7 неблагополучных пунктах.

Установлено, что в 2018 г. сальмонеллез свиней на территории животноводческих хозяйств России регистрировали в одном неблагополучном пункте, где количество заболевших животных составило 3 гол., или 30% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период. В 2019 г. в 3 неблагополучных пунктах выявили сальмонеллез свиней, где количество заболевших животных достигло 4 гол. (40% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период). В 2020 г. сальмонеллез свиней выявили соответственно у 3 гол. (30%) в одном неблагополучном пункте.

У лошадей в 2018 г. сальмонеллез выявили в 7 неблагополучных пунктах, где количество заболевших животных достигло 11 гол. (28,2% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период). В 2019 г. регистрировали наибольшее количество заболевших сальмонеллезом лошадей – 23 гол., или 59% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период, в 2020 г. – наименьшее количество заболевших сальмонеллезом лошадей – 5 гол. (12,8% от общей заболеваемости по данному виду животных за весь исследуемый период).

За весь период исследований регистрировалось наибольшее количество заболевшей сальмонеллезом птицы, состав 171 гол., что создает определенную озабоченность для птицеводческих хозяйств нашей страны. Следует отметить, что увеличение количества заболевших птиц не привело к увеличению числа неблагополучных пунктов. На протяжении 2018-2020 гг. ежегодно выявляли сальмонеллез птицы в 17 неблагополучных пунктах. Так, в 2018 г. сальмонеллезом заболели птицы – 33 гол. (19,3% от общей заболеваемости птицы по данной болезни за весь исследуемый период) – в 7 неблагополучных пунктах; в 2019 г. – соответственно 116 гол. (67,8%) в 6 неблагополучных пунктах; в 2020 г. – 22 гол. (12,9%) в 4 неблагополучных пунктах.

Таким образом, при проведении анализа динамики заболеваемости сальмонеллезом сельскохозяйственных животных и птицы была подтверждена необходимость оценки эпизоотической ситуации в регионах, а также то, что «хозяйинный» состав возбудителей соответствовал разным видам животных. Разработана линейно-графическая схема-модель заболеваемости сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом в условиях животноводческих и птицеводческих хозяйств РФ за 2018-2020 гг. (рис.). Это позволяет проследить заболеваемость животных и птицы сальмонеллезом за исследуемый период и наглядно отразить динамику заболеваемости сальмонеллезом разных видов животных и птицы для своевременного осуществления управленческих мероприятий по профилактике и ликвидации инфекционных болезней животных и птицы в животноводческих и птицеводческих хозяйствах.

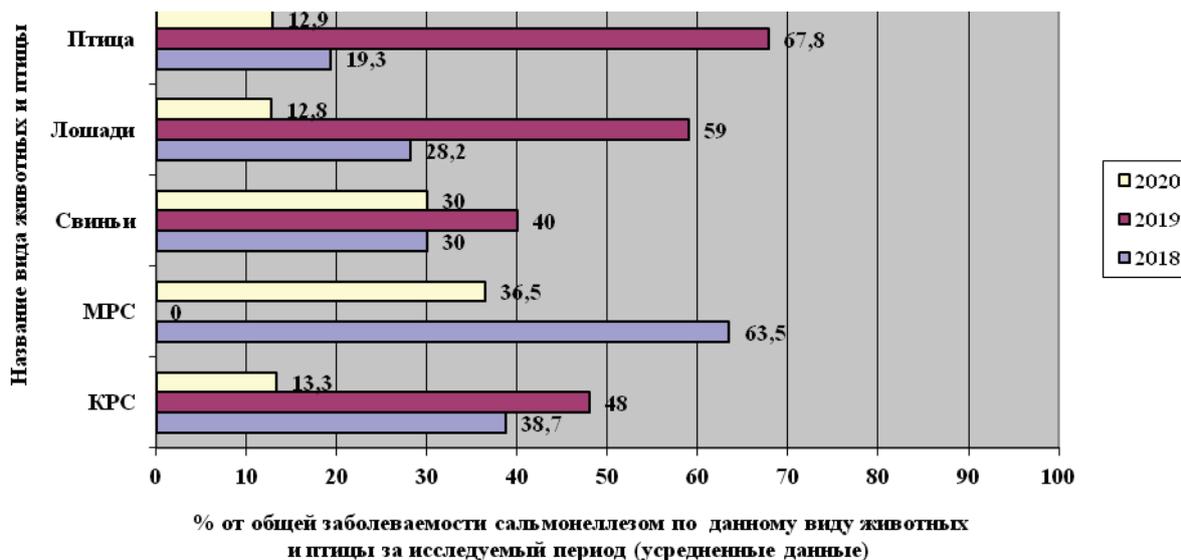


Рис. Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом в условиях животноводческих и птицеводческих хозяйств РФ за 3 года (усредненные данные, % от общего количества заболевших по каждому виду животных и птицы за исследуемый период)

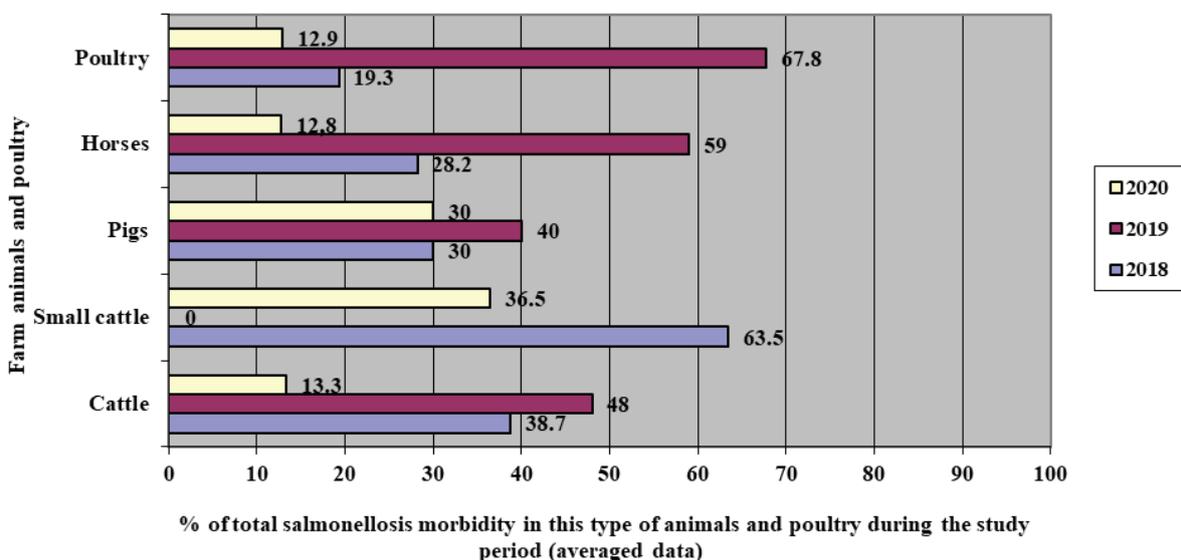


Fig. Incidence of salmonellosis in farm animals and poultry in livestock and poultry farms of the Russian Federation for three years (averaged data in% of the total number of diseased for each type of animals and poultry for the study period)

Далее был проведен анализ данных бактериологических исследований проб биологического материала от сельскохозяйственных животных и птицы на сальмонеллез в РФ за 2018-2020 гг. При проведении бактериологических исследований биологического материала сельскохозяйственных животных и птицы всего рассмотрены 827 732 пробы, в том числе у КРС – 96 096 проб, у МРС – 4 960 проб, у свиней – 90 141 проба, у лошадей – 7 831 проба, у птицы – 628 704 пробы.

Всего за период исследований в 2926 пробах подтвержден диагноз «Сальмонеллез», из них у КРС – в 608 пробах (20,78% от общего количества положительных результатов за исследуемый период), у МРС – соответственно в 43 пробах (1,47%), у свиней – в 303 пробах (10,36%), у лошадей – в 46 пробах (1,57%), у птицы – в 1926 пробах (65,82%). За 2018-2020 гг. в биологическом материале сельскохозяйственных животных и птицы по результатам бактериологических исследований на выявление сальмонелл обнаружены следующие сероварианты: *S. enteritidis*, *S. typhimurium*, *S. dublin*, *S. gallinarum*, *S. pullorum*, *S. abortus equi*, *S. infantis*.

Выводы

Проведенный ретроспективный анализ данных Министерства сельского хозяйства Российской Федерации за 2018-2020 гг. заболеваемости в хозяйствах России показал, что за исследуемый период сальмонеллез регистрировали у сельскохозяйственных животных и птицы в 91 неблагополучном пункте, где

общее количество заболевших животных и птицы составило 422 гол. Это свидетельствует об эпизоотической напряженности в хозяйствах по сальмонеллезу и может отразиться на эпидемическом благополучии населения. За весь период при проведении бактериологических исследований на сальмонеллез в 2926 пробах биологического материала животных и птицы подтвержден диагноз «Сальмонеллез». При этом за весь период исследований доля положительных результатов по обнаружению сальмонелл варьировала от 1,47% в биологическом материале мелкого рогатого скота до 65,82% в биологическом материале птицы.

Таким образом, в эпизоотически неблагополучных по сальмонеллезу регионах необходимо своевременно разрабатывать ветеринарно-санитарные мероприятия по предупреждению и нераспространению болезней в поголовье как на фермах по выращиванию сельскохозяйственных животных и птицы, так и на предприятиях по их переработке. Необходимо производить оценку эпизоотической ситуации в регионах и использовать системный подход при контроле состояния сальмонеллезной инфекции, включающих в себя мониторинг диагностических исследований, контроль состояния животноводческих и птицеводческих объектов и применение современных эффективных препаратов. В результате можно добиться эпизоотического благополучия поголовья и получения животноводческой продукции, безопасной в эпизоотическом и ветеринарно-санитарном отношении.

Список источников

1. Козак С.С. Профилактика токсикоинфекций при птицепереработке. Животноводство России. 2021;7:15-18. <https://doi.org/zxr.ru/zxr-2021-07-005>
2. Серегин И.Г., Козак Ю.А., Семенов В.Г., и др. Основные проблемы производственного ветеринарно-санитарного контроля на предприятиях АПК. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э.Баумана. 2021;246(2):202-210. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-202-210>
3. Козак С.С., Догадова Н.Л., Козак Ю.А., и др. Разработка Ветеринарно-санитарных правил для предприятий (цехов) переработки птицы и производства яйцепродуктов. Птица и птицепродукты. 2018;5:32-35. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2018-20-5-32-35>
4. Александрова Я.Р. Выявление сальмонелл в биологическом материале животных, птицы и животноводческой продукции. Вестник Чувашского ГАУ. 2023;1:45-49. <https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea>
4. Курмакаева Т.В., Баранович Е.С., Еньшин А.В., Сауткин А.В., Курмакаева Т.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.: ФГБОУ ВПО РАКО АПК, 2023. – С. 223-233.
5. Свириденко Г.М. Основным критерий безопасности молока-сырья – здоровье животных (сальмонеллез). Молочная промышленность. 2009;2:44-46.
6. Серегин И.Г., Баранович Е.С., Курмакаева Т.В., Гусарова М.Л. Инфекционные болезни, выявляемые при выращивании и переработке птицы. БИО. 2019:14-16.
7. Рузина А.В. Рождественская Т.Н., Панкратов С.В. Эпизоотологические и эпидемиологические аспекты сальмонеллеза птиц. Птица и птицепродукты. 2022;5:35-37.
8. Козак Ю.А., Серегин И.Г., Козак С.С. Научное обоснование ветеринарно-санитарной оценки мяса

References

1. Kozak S.S. Prevention of toxic infections during poultry processing. Zhivotnovodstvo Rossii. 2021;7:15-18. <https://doi.org/zxr.ru/zxr-2021-07-005> (In Rus.).
2. Seregin I.G., Kozak Yu.A., Semenov V.G. et al. Main problems of industrial veterinary and sanitary control at agricultural enterprises. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny imeni N.E. Bauman. 2021;246(2):202-210. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-202-210> (In Rus.).
3. Kozak S.S., Dogadova N.L., Kozak Yu.A. et al. Development of Veterinary and Sanitary Rules for enterprises (shops) of poultry processing and production of egg products. Ptitsa i pitseprodukty. 2018;5:32-35. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2018-20-5-32-35> (In Rus.).
4. Aleksandrova Ya.R. Detection of salmonella in biological material of animals, poultry and livestock products. Vestnik Chuvashskogo GAU. 2023;1:45-49. <https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea> (In Rus.).
5. Kurmakaeva T.V., Baranovich E.S., En'shin A.V., Sautkin A.V. Importance of individual bacterial diseases for farmers engaged in breeding and processing poultry. Dopolnitel'noe professional'noe obrazovanie APK: nauchnoe i konsul'tatsionnoe obespechenie (informatcionnoe i konsul'tatsionnoe obespechenie pri realizatsii gosudarstvennoy agrarnoy politiki). M.: FGBOU VPO RAKO APK, 2023:223-233. (In Rus.).
6. Sviridenko G.M. Main criterion for the safety of raw milk is animal health (salmonellosis). Dairy Industry, 2009;2:44-46. (In Rus.).
7. Seregin I.G., Baranovich E.S., Kurmakaeva T.V., Gusarova M.L. Infectious diseases detected during poultry growing and processing. BIO. 2019:14-16. (In Rus.).
8. Ruzina A.V. Rozhdenstvenskaya T.N., Pankratov S.V. Epizootological and epidemiological aspects of salmonellosis in birds. Ptitsa i pitseprodukty. 2022;5:35-37. (In Rus.).
9. Kozak Yu.A., Seregin I.G., Kozak S.S. Scientific justification for the veterinary and sanitary assessment

птицы при вынужденном убое. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2021;1(37):30-37. <https://doi.org/10.10.36871/vet.san.hyg.ecol.202101005>

Козак Ю.А., Серегин И.Г., Козак С.С. Изменения в мясе птицы при хранении в замороженном виде. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2022;4 (44):453-459. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202204007>

Сведения об авторах

Сергей Степанович Козак, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель ИЛЦ Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиала ФНЦ «ВНИТИП» (ВНИИПП); 141552, Московская область, г.о. Солнечногорск, р.п. Ржавки, стр. 1; e-mail: viippkozak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7823-7719>

Евгения Сергеевна Баранович, канд. ветеринар. наук, 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: ebaranovich@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4689-2510>.

Юлия Александровна Козак, канд. ветеринар. наук, старший преподаватель 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: kozak@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2050-0905>

Статья поступила в редакцию 02.10.2023
Одобрена после рецензирования 28.11.2023
Принята к публикации 30.11.2023

of poultry meat during forced slaughter. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2021;1(37):30-37. <https://doi.org/10.10.36871/vet.san.hyg.ecol.202101005> (In Rus.).

10. *Kozak Yu.A., Seregin I.G., Kozak S.S.* Changes in poultry meat during frozen storage. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2022;4(44):453-459. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202204007> (In Rus.).

Information about the authors

Sergey S. Kozak, DSc (Bio), Chief Research Associate, Head of the Testing Laboratory Centre, All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Poultry Institute” of Russian Academy of Sciences (ARSRIPI) (b.1, Rzhavki Settlement, Solnechnogorsk District, Moscow Region, 141552, Russian Federation); E-mail: viippkozak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7823-7719>

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

Yulia A. Kozak, CSc (Vet), Senior Lecturer of the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: kozak@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2050-0905>

The article was submitted to the editorial office 02 Oct 2023
Approved after reviewing 28 Nov 2023
Accepted for publication 30 Nov 2023

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
 УДК 582.282.31: 577.15(597)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-78-84>



Морфологические и генетические характеристики штаммов *Cordyceps militaris* во Вьетнаме

Нгуен Минь Ли¹, Ле Хуин Тхи Зьем Шьонг¹, Алексей Александрович Миронов²

¹ Данангский университет науки и образования, Да Нанг, Вьетнам

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Александрович Миронов; e-mail: a.mironov@rgau-msha.ru

Аннотация. Кордицепс (*Cordyceps militaris*) является ценной сельскохозяйственной лекарственной культурой во многих странах. В последние годы этот гриб становится все более популярным во Вьетнаме. В исследованиях представлены результаты оценки разнообразия 8 коммерческих штаммов кордицепса, собранных в разных провинциях Вьетнама. Были изучены морфологические признаки (цвет, длина, ширина) и особенности поверхности плодовых тел гриба. Для генетической оценки использованы молекулярные маркеры двух генов локуса MAT1-1 (MAT1-1-1, MAT1-1-2) и одного гена локуса MAT1-2 (MAT1-2-1). Результаты анализа показали, что все штаммы были разнообразными по морфологическим характеристикам. 7 штаммов P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8 имели только один локус типа спаривания MAT1-1. Только один штамм P2 содержал одновременно два локуса: MAT1-1 и MAT1-2. Этот результат показывает разнообразие штаммов кордицепса во Вьетнаме и поддерживает их отбор для создания новых штаммов путем половой гибридизации.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, кордицепс, локус типа спаривания, морфология, молекулярные маркеры.

Для цитирования: Нгуен Минь Л., Ле Хуин Тхи Зьем Ш., Миронов А.А. Морфологические и генетические характеристики штаммов *Cordyceps militaris* во Вьетнаме // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 78-84. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-78-84>

© Нгуен М.Л., Ле Хуин Тхи Зьем Ш., Миронов А.А., 2023

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-78-84>



Morphological and Genetic Characterization of *Cordyceps militaris* Strains in Vietnam

Ly Minh Nguyen¹, Suong Le Huynh Thi Ziem¹, Aleksey A. Mironov²

¹ University of Da Nang – University of Science and Education, Da Nang, Vietnam

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksey A. Mironov; a.mironov@rgau-msha.ru

Abstract. *Cordyceps (Cordyceps militaris)* is a valuable agricultural medicinal crop in many countries. In recent years, this mushroom has become increasingly popular in Vietnam. This study presents the results of a diversity assessment of eight commercial *Cordyceps* strains collected from different provinces in Vietnam. Morphological characteristics such as color, length, width, and surface features of the mushroom fruiting bodies were studied. Molecular markers of two genes of the MAT1-1 locus (MAT1-1-1, MAT1-1-2) and one gene of the MAT1-2 locus (MAT1-2-1) were used for genetic evaluation. The results of the analysis showed that all the strains were diverse in their morphological characteristics. Seven strains P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8 had only one MAT1-1 mating type locus. Only one strain P2 contained two MAT1-1 and MAT1-2 loci simultaneously. This result shows the diversity of *Cordyceps* strains in Vietnam and supports their selection to create new strains through sexual hybridization.

Key words: genetic diversity, *Cordyceps*, mating type locus, morphology, molecular marker

For citation: Nguyen M.L., Le Huynh Thi Ziem S., Mironov A.A. Morphological and Genetic Characterization of *Cordyceps militaris* Strains in Vietnam. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:78-84. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-78-84>

© Nguyen M.L., Le Huynh Thi Ziem S., Mironov A.A., 2023

Введение

Кордицепс (*Cordyceps militaris*) – ценный лекарственный гриб, выращивание которого достаточно распространено во многих странах мира. Ввиду высокой экономической ценности этого гриба во Вьетнаме в последние годы его активно изучают, проводят оптимизацию технологий культивирования и производства продуктов его переработки [1]. Штаммы кордицепса на вьетнамском рынке сегодня весьма разнообразны по происхождению, что ведет к разнообразию фенотипов. Кроме того, морфология *C. militaris* легко меняется в зависимости от условий выращивания. Большинство штаммов кордицепса, производимых во Вьетнаме, завезено из зарубежных стран: например, из Китая, Кореи, Японии. Сбор и оценка разнообразия генетических ресурсов культуры *C. militaris* являются важными этапами его селекции. Между тем описание и оценка генетического родства штаммов кордицепса, распространенных в производстве, все еще очень ограничены.

Цель исследований. Данное исследование штаммов *C. militaris* было сосредоточено на оценке морфологических характеристик их плодовых тел, поиске локусов типа спаривания (MAT) и изучении генетического разнообразия с помощью молекулярных маркеров.

Методика исследований

Было изучено 8 штаммов *C. militaris*, отобранных в виде свежих плодовых тел в коммерческих организациях по культивированию этого гриба в разных провинциях Вьетнама в 2022 г. (табл. 1). После сбора были проведены изоляция штаммов и их культивирование на среде для развития плодовых тел, содержащей 40 г коричневого риса и 100 г/л куколки, 30 г/л сои, 5 г/л пептона, 30 г/л глюкозы, 1,0 г/л K₂HPO₄, 1,0 г/л MgSO₄. Каждый эксперимент проводился по 3 повторности.

Таблица 1

Список собранных штаммов *C. militaris*

№	Обозначение штамма	Место сбора	№	Обозначение штамма	Место сбора
1	P1	Ханой	5	P5	Ханой
2	P2	Ханой	6	P6	Контум
3	P3	Ханой	7	P7	Контум
4	P4	Хошиминь	8	P8	Ханой

Table 1

List of collected *C. militaris* strains

No.	Strain designation	Collection site	No.	Strain designation	Collection site
1	P1	Hanoi	5	P5	Hanoi
2	P2	Hanoi	6	P6	Kontum
3	P3	Hanoi	7	P7	Kontum
4	P4	Ho Chi Minh	8	P8	Hanoi

Генетические исследования проводили в Лаборатории клеточной биологии в Данангском университете науки и образования. Для определения генов типов спаривания MAT1-1-1, MAT1-1-2 и MAT1-2-1 использовали 6 пар праймеров (табл. 2). Праймеры MAT1-1-2-F, MAT1-1-2-R, MAT1-2-1-F были разработаны на основе сиквенсов AB084257.1, AB194982.1 с помощью программы Primer-BLAST¹.

¹ Режим доступа к программе: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>.

Таблица 2

Список праймеров, используемых для амплификации генов спаривания

нп	Название праймеров	Последовательность (5'-3')	Литература
1	MAT1-1-1-F	ATGGAACACAGATCGAGCGACAC	[2]
2	MAT1-1-1-R	ATATACCTTCGCGATCATTGCCAG	[2]
3	MAT1-1-2-F	GTCCTGCTGGTCAAAGAAGC	Авторы
4	MAT1-1-2-R	GACGGGACCATGTCTCAGAT	Авторы
5	MAT1-2-1-F	GCGAGCCACATTTGTCTGAAC	Авторы
6	MAT1-2-1-R	CCTCTGGAGGTTCTGCATTCCA	[2]

Table 2

List of primers used for amplification of mating type genes

No.	Primer	Sequence (5'-3')	Reference
1	MAT1-1-1-F	ATGGAACACAGATCGAGCGACAC	[2]
2	MAT1-1-1-R	ATATACCTTCGCGATCATTGCCAG	[2]
3	MAT1-1-2-F	GTCCTGCTGGTCAAAGAAGC	Authors
4	MAT1-1-2-R	GACGGGACCATGTCTCAGAT	Authors
5	MAT1-2-1-F	GCGAGCCACATTTGTCTGAAC	Authors
6	MAT1-2-1-R	CCTCTGGAGGTTCTGCATTCCA	[2]

Оценка морфологических характеристик плодовых тел образцов произведена по цвету, длине (см), ширине (мм) и особенностям поверхности плодовых тел.

Выделение ДНК проводили по Doyle и Doyle (1987) с некоторыми модификациями [3]. ПЦР-реакцию проводили на ПЦР-машине Aeris Thermal Cycler (ESCO, Сингапур). Реакционная смесь объемом 20 мкл включала в себя: 1X Master Mix (ООО Phu Sa Biochemistry); 50-100 нг тотальной ДНК; 1 пкмоль праймера. Реакция начиналась при температуре 95°C в течение 5 мин, затем следовали 35 циклов (денатурация 30 с при 95°C, отжиг 30 с при 52-62°C, синтез 60 с при 72°C). Заканчивалась реакция при температуре 72°C в течение 10 мин. Продукты ПЦР хранили при 4°C.

Продукты ПЦР подвергали электрофорезу (MultiSUB Midi, Cleaver Scientific, Англия) в 1%-ном агарозном геле, 1X буфер TBE, 100В, 100 мА в течение 90 мин. Результат электрофореза анализировали с помощью программного обеспечения GELANALYZER версии 19.1.

Результаты анализа обработаны методами биологической статистики в программах MS-Excel-2013 и R с достоверностью 95%.

Результаты и их обсуждение

Морфологическая характеристика штаммов *C. militaris*. Оцениваемые штаммы грибов имели разные фенотипические характеристики (табл. 3, 4, рис. 1). Штамм P3 имел наибольший размер плодового тела (длину 7,16±0,41 см и диаметр 3,86±0,13 см), но плодовое тело было неравномерно развито и имело шипы на верхушке. Штамм P1 имел самую высокую биомассу в свежем виде (включая общую массу стромы и массу субстрата), а также большую длину и ширину, но морфологические характеристики его плодового тела имели множество вариаций. Штамм P5 показал наименее привлекательные для использования морфологические показатели: самую светлую окраску плодового тела, деформированное и неравномерно развитое плодовое тело. Штамм P2 оказался перспективным с высокими значениями оценочных критериев и хорошо развитым плодовым телом. Кроме того, P2 был единственным, у которого на плодовом теле обнаружены перитеции, характерные только для штаммов *C. militaris* с комбинацией обоих локусов типа спаривания MAT1-1 и MAT1-2-1.

Размеры и масса плодовых тел изученных штаммов *C. militaris*

Штамм	Длина, см	Ширина, мм	Масса плодовых тел, г	Масса субстрата, г
P1	6,14±0,56	3,9±0,22	45,21	63,39
P2	6,14±0,74	3,96±1,42	33,6	57,74
P3	7,16±0,41	3,86±0,13	39,95	56,69
P4	5,98±0,56	3,56±0,34	36,4	50,54
P5	4,56±0,35	3,02±0,11	28,44	48,92
P6	6,06±0,39	3,15±0,35	32,65	59,58
P7	6,48±0,52	3,11±0,13	39,98	52,43
P8	5,68±0,39	2,8±0,4	33,421	63,019

Table 3

Size and weight of fruiting bodies of the studied strains of *C. militaris*

Strain	Length (cm)	Width (mm)	Fruiting body weight (g)	Substrate weight (g)
P1	6.14±0.56	3.9±0.22	45.21	63.39
P2	6.14±0.74	3.96±1.42	33.6	57.74
P3	7.16±0.41	3.86±0.13	39.95	56.69
P4	5.98±0.56	3.56±0.34	36.4	50.54
P5	4.56±0.35	3.02±0.11	28.44	48.92
P6	6.06±0.39	3.15±0.35	32.65	59.58
P7	6.48±0.52	3.11±0.13	39.98	52.43
P8	5.68±0.39	2.8±0.4	33.421	63.019

Определение генотипов локусов типа спаривания собранных штаммов. Локусы MAT играют важную роль в формировании плодовых тел *C. militaris* [4, 5]. В ходе исследований было проведено определение генотипов локуса типа спаривания собранных штаммов *C. militaris* (рис. 2).

Результаты показали, что все 8 исследованных штаммов содержали локус MAT1-1 включая два гена MAT1-1-1 и MAT1-1-2. Из них только штамм P2 – лучший по морфологическим характеристикам – имел локус MAT1-2. При этом не выявлены штаммы, несущие только локус MAT1-2.

Определение и сравнение активных ингредиентов кордицепина и аденозина в плодовых телах с перитециями и без них показали, что процесс размножения гриба требует значительного количества ресурсов гриба, тем самым снижая его качество [5]. Lee и др. (2007) сообщили, что все штаммы, у которых не развились нормальные плодовые тела, содержали только один локус MAT1-1, в то время как все штаммы с нормальными плодовыми телами имели два локуса MAT1-1 и MAT1-2 [2]. Кроме того, генотипирование деградировавших штаммов *C. militaris* показало, что они содержат полностью делетированную область MAT1-2-1. Программы селекции на основе полового размножения, осуществляемые путем скрещивания мицелия спор идиоморфов MAT1-1 и MAT1-2, позволили получить штаммы с высоким содержанием и выходом кордицепина [6-8].

Морфологическая характеристика плодовых тел изученных штаммов *C. militaris*

Штамм	Цвет плодовых тел	Морфологическая характеристика стромы	Локус типа спаривания
P1	Ярко-оранжевый	Стромы длинные, различаются по размеру и форме, имеют увеличенные верхушки. Некоторые стромы имеют шипы, прикрепленные к верхушке	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P2	Оранжевый	Стромы длинные, шероховатые, однородные по размеру и форме. Строма имеет перитеции	MAT1-1-1, MAT1-1-2, MAT1-2-1
P3	Ярко-оранжевый	Стромы длинные, различаются по размеру и форме. Верхушка стромы увеличена. Некоторые стромы имеют шипы	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P4	Оранжево-желтый	Стромы длинные, различаются по размеру и форме. Верхушка крупнее и более круглая, чем тело	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P5	Светло-оранжевый	Стромы тонкие и короткие, различаются по размеру, форме и плотности распределения на поверхности субстрата. Многие стромы разветвлены и деформированы	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P6	Ярко-оранжевый	Стромы длинные, различаются по размеру и форме. Верхушка стромы увеличена. Некоторые стромы имеют шипы. Тела имеют трещины	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P7	Ярко-оранжевый	Стромы длинные, различаются по размеру и форме. Верхушка стромы увеличена. Некоторые стромы имеют шипы. Тела имеют трещины	MAT1-1-1, MAT1-1-2

Table 4

Morphological characterisation of the fruiting bodies of the studied strains of *C. militaris*

Штамм	Цвет плодовых тел	Морфологическая характеристика стромы	Локус типа спаривания
P1	Bright orange	Stromata are long, vary in size and shape, and have enlarged apices. Some stromata have spines attached to the apex	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P2	Orange	Stromata are long, rough, homogeneous in size and shape. The stroma has perithecia	MAT1-1-1, MAT1-1-2, MAT1-2-1
P3	Bright orange	Stromata are long, vary in size and shape. The apex of the stroma is enlarged. Some stromata have spines	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P4	Orange-yellow	Stromata are long, vary in size and shape. The apex is larger and rounder than the body	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P5	Light orange	Stromata are thin and short, vary in size, shape and density of distribution on the surface of substrates. Many stromata are branched and deformed	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P6	Bright orange	Stromata are long, vary in size and shape. The apex of the stroma is enlarged. Some stromata have spines. The bodies are fissured	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P7	Bright orange	Stromata are long, vary in size and shape. The apex of the stroma is enlarged. Some stromata have spines. The bodies are fissured	MAT1-1-1, MAT1-1-2
P8	Bright orange	Stromata are thin, long and uniform in size and shape. The apex is larger and rounder than the body	MAT1-1-1, MAT1-1-2

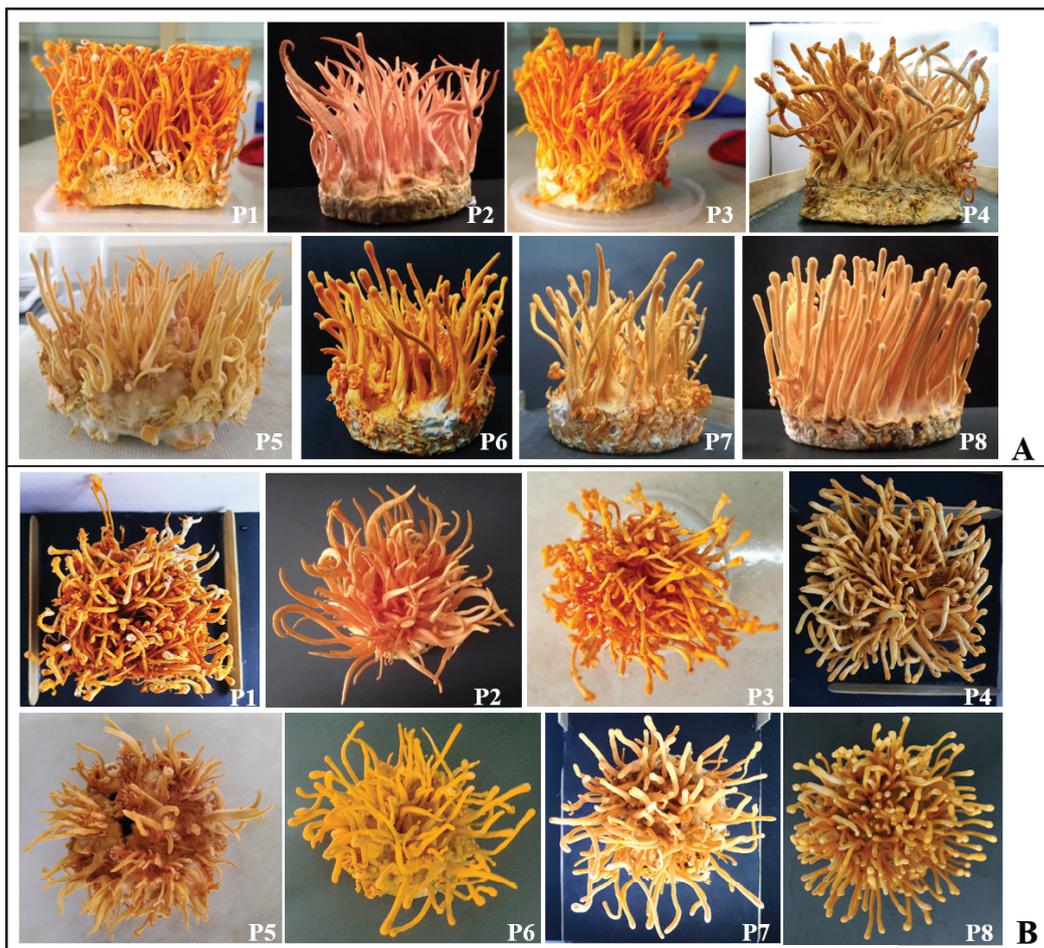


Рис. 1. Морфология собранных штаммов *C. militaris* P1-P8:
 А – вид сбоку; В – вид сверху

Fig. 1. Morphology of collected strains of *C. militaris* P1-P8.
 A – lateral view, B – top view

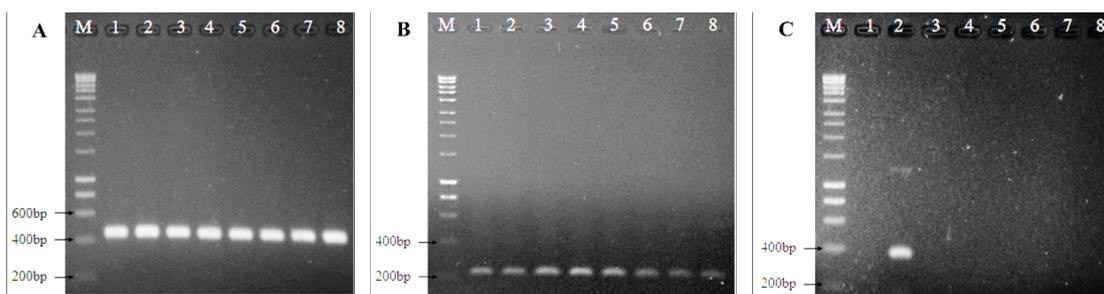


Рис. 2. Результат анализа наличия локусов MAT у собранных штаммов *C. militaris* P1-P8:
 А – праймеры MAT1-1-1-F, MAT1-1-1-R; В – праймеры MAT1-1-2-F, MAT1-1-2-R;
 С – праймеры MAT1-2-1-F, MAT1-2-1-R. 1- P1, 2- P2, 3- P3, 4- P4, 5- P5, 6- P6, 7- P7, 8- P8; M – Ladder

Fig. 2. Results of analysis of MAT loci presence in the collected *C. militaris* P1-P8 strains.
 А – primers MAT1-1-1-F, MAT1-1-1-R, В – primers MAT1-1-2-F, MAT1-1-2-R,
 С – primers MAT1-2-1-F, MAT1-2-1-R. 1- P1, 2- P2, 3- P3, 4- P4, 5- P5, 6- P6, 7- P7, 8- P8, M – Ladder

Выводы

На основании морфологических критериев оценки выявлено, что большинство полученных штаммов показало сходную морфологию с оранжевой стромой, удлиненным телом и увеличенной головкой, кроме штамма P5 с короткой стромой и штамма P2 с заостренным кончиком стромы и перитециями. Результаты типов спаривания штаммов показали, что только штамм P2 имел присутствие локусов – как MAT1-1, так и MAT1-2, в то время как остальные штаммы имели только MAT1-1. Результаты исследований способствуют лучшему пониманию морфологического и генетического разнообразия штаммов кордицепса во Вьетнаме.

Список источников

1. Tran T.T., Le V.V. Study of suitable media for the fruiting body of medicinal mushroom *Cordyceps militaris* on host. Can Tho University Journal of Science. 2020;56(5):125-134. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2020.121>
2. Lee H.H., Kang N., Park I., et al. Characterization of Newly Bred *Cordyceps militaris* Strains for Higher Production of Cordycepin through HPLC and URP-PCR Analysis. J Microbiol Biotechnol. 2017;27(7):1223-1232. <https://doi.org/10.4014/jmb.1701.01043>
3. Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem. Bull. 1987;19(1):11-15.
4. Zheng P. et al. Genome sequence of the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine. Genome biology. 2012;12:1-22. <https://doi.org/10.1186/gb-2011-12-11-r116>
5. Lu Y., Xia Y., Luo F., et al. Functional convergence and divergence of mating-type genes fulfilling in *Cordyceps militaris*. Fungal Genetics and Biology. 2016;88:35-43. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2016.01.013>
6. Zhang G., Liang Y. Improvement of fruiting body production in *Cordyceps militaris* by molecular assessment. Archives of microbiology. 2013;195:579-585. <https://doi.org/10.1007/s00203-013-0904-8>
7. Kang N., Lee H.H., Park I., Seo Y.S. Development of high cordycepin-producing *Cordyceps militaris* strains. Mycobiology. 2017;45(1):31-38.
8. Lin P.J. et al. Cross breeding of novel *Cordyceps militaris* strains with high contents of cordycepin and carotenoid by using MAT genes as selectable markers. Scientia Horticulturae. 2021;290:110492. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110492>

Сведения об авторах

Ли Минь Нгуен, преподаватель, декан факультета биологии и науки об окружающей среде, Ph.D., канд. с.-х. наук, Данангский университет педагогики и науки; 459, Ton Duc Thang st., Дананг, Вьетнам; e-mail: nmly@ued.udn.vn, orcid: 0000-0002-0652-891X

Ле Хуин Тхи Зьем Шыонг, студент факультета биологии и науки об окружающей среде, Данангский университет педагогики и науки; 459, Ton Duc Thang st., Дананг, Вьетнам; e-mail: lehuynhsuong1999@gmail.com

Алексей Александрович Миронов, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a.mironov@rgau-msha.ru; 0000-0002-0297-500X

Статья поступила в редакцию 24.05.2023
Одобрена после рецензирования 09.10.2023
Принята к публикации 17.10.2023

References

1. Tran T.T., Le V.V. Study of suitable media for the fruiting body of medicinal mushroom *Cordyceps militaris* on host. Can Tho University Journal of Science. 2020;56(5):125-134. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2020.121>
2. Lee H.H., Kang N., Park I., et al. Characterization of Newly Bred *Cordyceps militaris* Strains for Higher Production of Cordycepin through HPLC and URP-PCR Analysis. J Microbiol Biotechnol. 2017;27(7):1223-1232. <https://doi.org/10.4014/jmb.1701.01043>
3. Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem. Bull. 1987;19(1):11-15.
4. Zheng P. et al. Genome sequence of the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine. Genome biology. 2012;12:1-22. <https://doi.org/10.1186/gb-2011-12-11-r116>
5. Lu Y., Xia Y., Luo F., et al. Functional convergence and divergence of mating-type genes fulfilling in *Cordyceps militaris*. Fungal Genetics and Biology. 2016;88:35-43. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2016.01.013>
6. Zhang G., Liang Y. Improvement of fruiting body production in *Cordyceps militaris* by molecular assessment. Archives of microbiology. 2013;195:579-585. <https://doi.org/10.1007/s00203-013-0904-8>
7. Kang N., Lee H.H., Park I., Seo Y.S. Development of high cordycepin-producing *Cordyceps militaris* strains. Mycobiology. 2017;45(1):31-38.
8. Lin P.J. et al. Cross breeding of novel *Cordyceps militaris* strains with high contents of cordycepin and carotenoid by using MAT genes as selectable markers. Scientia Horticulturae. 2021;290:110492. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110492>

Information about the authors

Ly Minh Nguyen, преподаватель, декан of Department of Biotechnology, Faculty of Biology & Environmental Science, Ph.D., кандидат с.-х. наук, The University of Da Nang – University of Science and Education (459, Ton Duc Thang Str., Da Nang, Vietnam); E-mail: nmly@ued.udn.vn, orcid: 0000-0002-0652-891X

Suong Le Huynh Thi Ziem, студент факультета биологии и науки об окружающей среде, Данангский университет педагогики и науки; 459, Ton Duc Thang st., Дананг, Вьетнам; e-mail: lehuynhsuong1999@gmail.com

Aleksey A. Mironov, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: a.mironov@rgau-msha.ru, 0000-0002-0297-500X

The article was submitted to the editorial office 24 May 2023
Approved after reviewing 09 Oct 2023
Accepted for publication 17 Oct 2023

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья

УДК 631.816: 633.521: 631.445.24: 631.811

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>



Влияние разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) при возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве

Юлия Евгеньевна Гусева, Галина Алексеевна Смолина, Алексей Максимович Пронин

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

Автор, ответственный за переписку: Юлия Евгеньевна Гусева; uguseva@rgau-msha.ru

Аннотация. Лен-долгунец – важнейшая техническая культура, которая очень требовательна к минеральному режиму и сильно реагирует на недостаток питательных веществ в почве. Корневая система льна-долгунца характеризуется неглубоким расположением, низкой поглотительной способностью. Основную массу элементов минерального питания культура потребляет за достаточно короткий промежуток времени. В связи с этим целью наших исследований было установление в условиях вегетационного опыта влияния разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом сорта Цезарь. В результате проведенных исследований определено, что внесение азотных удобрений вне зависимости от формы, в которой находится элемент минерального питания, повышает: урожайность льна-долгунца – на 10,33-13,43 г/сосуд; содержание сухого вещества в технической культуре – на 2,40-7,43%; вынос растениями макроэлементов, азота – на 139,2-230,3 мг/сосуд, фосфора – на 34,8-66,4 мг/сосуд, калия – на 132,9-235,5 мг/сосуд по сравнению с контролем. Добавление бора к аммонийной и нитратной формам азота увеличивает урожай культуры на 5,05 и 7,94%, а также вынос растениями льна-долгунца азота на 10,9 и 16,9%, фосфора – на 16,4 и 22,1% по сравнению с вариантами без внесения микроэлемента. Применение сернокислого аммония и мочевины повышает содержание в растениях технической культуры азота на 15,47 и 16,27% по сравнению с контролем. Совместное внесение азотнокислого натрия и борной кислоты увеличивает вынос льном-долгунцом калия, когда прибавка от применения микроэлемента составляет 14,1%.

Ключевые слова: лен-долгунец, азот, фосфор, калий, бор, влияние азота на урожай льна-долгунца, влияние бора на урожай льна-долгунца, влияние азота и вынос макроэлементов льном-долгунцом, влияние бора и вынос макроэлементов льном-долгунцом, дерново-подзолистые почвы

Благодарности. Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

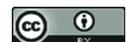
Для цитирования. Гусева Ю.Е., Смолина Г.А., Пронин А.М. Влияние разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) при возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 85-95. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>

© Гусева Ю.Е., Смолина Г.А., Пронин А.М., 2023

SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95>



Effect of Different Forms of Nitrogen and Boron on the Yield and Removal of Macroelements by Fiber Flax (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) when Cultivated on Sod-Podzol Medium Loamy Soil

Yuliya E. Guseva, Galina A. Smolina, Aleksey M. Pronin

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

Corresponding author: Yuliya E. Guseva, uguseva@rgau-msha.ru

Abstract. Fiber flax is the most important industrial crop, which is very demanding on the mineral regime and reacts strongly to nutrient deficiencies in the soil. The root system of fiber flax is characterized by a shallow location and low absorption capacity. The crop consumes most of the mineral nutrients in a relatively short period of time. In this context, the purpose of our

research was, to determine the effect of different forms of nitrogen and boron on the yield and macroelement removal by fiber flax of the Caesar variety in the conditions of vegetation experiment. As a result of the studies, it was found that the application of nitrogen fertilizers, regardless of the form in which the element of mineral nutrition is located, increases the yield of fiber flax by 10.33-13.43 g/vessel, the dry matter content in the industrial crop – by 2.40-7.43%. The increased removal of macroelements by the plants was as follows: nitrogen – by 139.2-230.3 mg/vessel, phosphorus – by 34.8-66.4 mg/vessel and potassium – by 132.9-235.5 mg/vessel compared to the control. The addition of boron to the ammonium and nitrate forms of nitrogen increases the crop yield by 5.05 and 7.94%, nitrogen removal by 10.9 and 16.9% and phosphorus removal by 16.4 and 22.1% compared to options without adding microelements. The use of ammonium sulphate and urea increases the nitrogen content in industrial crops by 15.47 and 16.27% compared to the control. The combined application of sodium nitrate and boric acid increases the removal of potassium by fiber flax, where the increase due to the use of the microelement is 14.1%.

Keywords: fibre flax, nitrogen, phosphorus, potassium, boron, effect of nitrogen on fibre flax yield, effect of boron on fibre flax yield, effect of nitrogen and macronutrient removal by fibre flax, effect of boron and macronutrient removal by fibre flax, sod-podzol soils

Acknowledgement. The work was carried out at the expense of the University Development Programme within the framework of the Priority-2030 Strategic Academic Leadership Programme.

For citation. Guseva Yu.E., Smolina G.A., Pronin A.M. Effect of Different Forms of Nitrogen and Boron on the Yield and Removal of Macroelements by Fiber Flax (*Linum usitatissimum* L.f. *elongata*) when Cultivated on Sod-Podzol Medium Loamy Soil. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:85-95. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-85-95> (In Rus.)

© Guseva Yu.E., Smolina G.A., Pronin A.M., 2023

Введение

Главный фактор, определяющий урожай и качество растениеводческой продукции, – оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур [1]. Одной из важнейших технических культур в России является лен, который возделывают для производства волокна и получения семян. Леняное волокно по праву признано одним из лучших текстильных волокон. Лен-долгунец многими учеными признается стратегической культурой, которая может заменить хлопок, который в России не возделывается [2]. Лен выращивают в районах влажного и умеренного климата. По размеру площадей льна-долгунца в нашей стране выделяются Удмуртская Республика, Омская, Смоленская области, Алтайский край и Нижегородская область, на долю которых в 2022 г. приходилось 67,1% посевных площадей технической культуры. Всего же, по данным Росстата, в 2022 г. в России посевные площади льна-долгунца в хозяйствах всех категорий составляли 35,3 тыс. га [3]. Стоит отметить, что по отношению даже к 2021 г. посевы сельскохозяйственной культуры уменьшились на 11,1%, или на 4,4 тыс. га.

Потребность в льноволокне с каждым годом возрастает, но объемы урожая и качество льнопродукции оставляют желать лучшего. Для решения данной проблемы необходимо повышать качество агрохимических приемов, направленных на создание оптимальных условий для роста и развития сельскохозяйственной культуры, получение высокого урожая льна-долгунца и волокна надлежащего качества. В связи с этим **целью исследований было** установление влияния разных форм азота и бора на урожай и вынос макроэлементов льном-долгунцом сорта Цезарь.

Методика исследований

Вегетационный опыт был проведен на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Агрохимические показатели дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы были следующими: содержание гумуса – 2,65%, pH_{KCl} – 5,8; гидролитическая кислотность – 1,83 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 17,2 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 90%; содержание подвижного фосфора – 224 мг/кг почвы, обменного калия – 123 мг/кг почвы. Содержание органического вещества в почве определяли по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-2021), величину pH солевой вытяжки определяли по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), величину гидролитической кислотности – по методу Каппена (ГОСТ 26212-2021), сумму поглощенных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-2020), содержание подвижных форм фосфора и обменного калия – по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011) [4].

Для закладки опыта были использованы сосуды Митчерлиха размером 20×20 см, вмещающие 5 кг почвы. Схема опыта состояла из 7 вариантов, повторность – 6-кратная. Доза азота с вносимыми удобрениями составляла 50 мг N/кг почвы, бора – 1,67 мг В/кг почвы. Норму азотных и борных удобрений устанавливали согласно рекомендациям [4, 7]. Аммонийную форму азота вносили в виде сульфата аммония, нитратную – в виде натриевой селитры, амидную – в виде мочевины. Источником бора служила борная кислота.

Объектом исследований служил лен-долгунец сорта Цезарь. Сорт селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Россия, г. Торжок) был включен в Госреестр по Северо-Западному региону в 2017 г. Сорт устойчив к полеганию, осыпанию. Отличается хорошим качеством волокна, обладает высокими прядильными свойствами.

В каждый сосуд высевали по 0,5 г семян льна-долгунца. Уборку растительного материала проводили в фазу зеленой спелости. Растения срезали, высушивали, измельчали, готовый материал использовали для дальнейших исследований. Содержание элементов минерального питания в растительных образцах определяли после мокрого озоления: азота – микрометодом Къельдаля, фосфора – по методу Труога-Мейера колориметрически, калия – на пламенном фотометре [4]. Математическую обработку результатов производили с помощью дисперсионного анализа [4].

Результаты и их обсуждение

Проведенный вегетационный опыт на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве показал, что внесение разных форм азотных удобрений и добавление к ним бора влияют на урожайность льна-долгунца сорта Цезарь (табл. 1).

Таблица 1

Влияние разных форм азота и бора на урожайность льна-долгунца сорта Цезарь

№	Вариант	Урожайность, г/сосуд	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			г/сосуд	%	г/сосуд	%
1	Контроль	9,40	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	21,73	12,33	131,21	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	22,83	13,43	142,91	1,10	5,06
4	NaNO ₃	19,73	10,33	109,93	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	21,30	11,90	126,60	1,57	7,94
6	CO(NH ₂) ₂	21,80	12,40	131,91	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	22,33	12,93	137,59	0,53	2,45
НСР ₀₅		1,03				

Table 1

Effect of different forms of nitrogen and boron on the yield of fiber flax of the variety Caesar

№	Option	Productivity, g/vessel	Increased control		Increase from boron	
			g/vessel	%	g/vessel	%
1	Control	9.40	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	21.73	12.33	131.21	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	22.83	13.43	142.91	1.10	5.06
4	NaNO ₃	19.73	10.33	109.93	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	21.30	11.90	126.60	1.57	7.94
6	CO(NH ₂) ₂	21.80	12.40	131.91	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	22.33	12.93	137.59	0.53	2.45
NSR ₀₅		1.03				

Применение азотных удобрений положительно сказалось на росте и развитии технической культуры. Во всех удобренных вариантах фиксировали достоверную прибавку урожая, причем добавление бора к азоту статистически значимо повысило урожайность льна-долгунца при внесении сульфата аммония и натриевой селитры, когда прибавка от микроэлемента составляла 1,10 и 1,57 г/сосуд соответственно.

Содержание сухого вещества в технической культуре также повышалось при применении удобрений (табл. 2). И азот, и внесенный бор обеспечили достоверный рост данного показателя, превышая контрольные значения на 9,51-29,44%. Однако стоит отметить, что добавление бора статистически значимо увеличило содержание сухого вещества в растениях льна-долгунца только при применении сульфата аммония, когда прибавка составила 2,38%, превышая контроль на 7,86%. В остальных вариантах достоверное изменение показателя достигнуто не было.

Содержание азота в растениях льна-долгунца сорта Цезарь зависело от применения разных форм азотных удобрений и бора (табл. 3). Достоверное увеличение содержания макроэлемента в сельскохозяйственной культуре было отмечено при внесении сульфата аммония и мочевины, прибавка к контролю составляла 15,47 и 16,27% соответственно. Применение натриевой селитры на содержание органогенного элемента питания влияния не оказало, однако добавление к нитрату натрия борной кислоты статистически значимо повысило данный показатель, была зафиксирована прибавка к контролю – 12,8%. Следует отметить, что добавление борного удобрения статистически значимо не увеличило содержание азота в растениях льна-долгунца.

Таблица 2

Влияние разных форм азота и бора на содержание сухого вещества в растениях льна-долгунца сорта Цезарь

№	Вариант	Содержание сухого вещества, %	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			% (абс)	% (отн)	% (абс)	% (отн)
1	Контроль	25,24	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	30,28	5,05	20,00	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	32,67	7,43	29,44	2,38	7,86
4	NaNO ₃	27,63	2,40	9,51	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	28,82	3,58	14,19	1,18	4,28
6	CO(NH ₂) ₂	29,23	3,99	15,81	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	30,63	5,40	21,38	1,40	4,81
HCP ₀₅		1,83				

Table 2

Effect of different forms of nitrogen and boron on the dry matter content in fiber flax of the Caesar variety

№	Option	Content of dry matter, %	Increased control		Increase from boron	
			% (abs)	% (rel)	% (abs)	% (rel)
1	Control	25.24	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	30.28	5.05	20.00	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	32.67	7.43	29.44	2.38	7.86
4	NaNO ₃	27.63	2.40	9.51	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	28.82	3.58	14.19	1.18	4.28
6	CO(NH ₂) ₂	29.23	3.99	15.81	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	30.63	5.40	21.38	1.40	4.81
HCP ₀₅		1.83				

Содержание фосфора в технической культуре при применении азотных удобрений и бора снижалось (табл. 3). Количество зольного элемента питания при внесении аммонийной, нитратной и амидных форм азота составляло 0,47-0,48%, что ниже контроля на 23,28-24,87%. Добавление бора к азотным удобрениям немного повысило содержание макроэлемента в сельскохозяйственной культуре, но все же достигнуть контрольные значения не удалось. Содержание фосфора при применении микроэлемента составляло 0,49-0,55% – на 12,70-22,22% ниже данного показателя в варианте без применения удобрений. При добавлении к сульфату аммония, а также к натриевой селитре бора достоверно повышалось содержание фосфора в растениях, прибавка от микроэлемента составляла 16,20 и 7,69% соответственно.

Таблица 3

**Влияние разных форм азота и бора на содержание макроэлементов
в растениях льна-долгунца сорта Цезарь**

№	Вариант	Содержание, %	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			% (абс)	% (отн)	% (абс)	% (отн)
N						
1	Контроль	1,25	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,44	0,19	15,47	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,52	0,27	21,87	0,08	5,54
4	NaNO ₃	1,3	0,05	4,27	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1,41	0,16	12,8	0,11	8,18
6	CO(NH ₂) ₂	1,45	0,2	16,27	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1,49	0,24	19,47	0,04	2,75
НСП ₀₅		0,13				
P₂O₅						
1	Контроль	0,63	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,47	–0,16	–24,87	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,55	–0,08	–12,7	0,08	16,2
4	NaNO ₃	0,48	–0,15	–24,34	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	0,51	–0,12	–18,52	0,04	7,69
6	CO(NH ₂) ₂	0,48	–0,15	–23,28	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	0,49	–0,14	–22,22	0,01	1,38
НСП ₀₅		0,04				
K₂O						
1	Контроль	1,77	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,79	0,02	0,94	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,76	–0,01	–0,56	–0,03	–1,49
4	NaNO ₃	1,52	–0,25	–14,31	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1,6	–0,17	–9,42	0,09	5,71
6	CO(NH ₂) ₂	1,72	–0,05	–2,64	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1,71	–0,06	–3,39	–0,01	–0,77
НСП ₀₅		0,06				

Table 3

Effect of different forms of nitrogen and boron on the content of macroelements in fiber flax of the Caesar variety

№	Option	Content, %	Increased control		Increase from boron	
			% (abs)	% (rel)	% (abs)	% (rel)
N						
1	Control	1.25	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.44	0.19	15.47	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1.52	0.27	21.87	0.08	5.54
4	NaNO ₃	1.3	0.05	4.27	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1.41	0.16	12.8	0.11	8.18
6	CO(NH ₂) ₂	1.45	0.2	16.27	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1.49	0.24	19.47	0.04	2.75
NSR ₀₅		0.13				
P₂O₅						
1	Control	0.63	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.47	–0.16	–24.87	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0.55	–0.08	–12.7	0.08	16.2
4	NaNO ₃	0.48	–0.15	–24.34	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	0.51	–0.12	–18.52	0.04	7.69
6	CO(NH ₂) ₂	0.48	–0.15	–23.28	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	0.49	–0.14	–22.22	0.01	1.38
NSR ₀₅		0.04				
K₂O						
1	Control	1.77	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.79	0.02	0.94	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1.76	–0.01	–0.56	–0.03	–1.49
4	NaNO ₃	1.52	–0.25	–14.31	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	1.6	–0.17	–9.42	0.09	5.71
6	CO(NH ₂) ₂	1.72	–0.05	–2.64	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	1.71	–0.06	–3.39	–0.01	–0.77
NSR ₀₅		0.06				

Содержание калия в растениях льна-долгунца сорта Цезарь находилось в пределах 1,52-1,79% (табл. 3). Аммонийная и амидная формы азота не оказали влияния на обсуждаемый показатель, достоверное различие с контролем достигнуто не было. Однако применение только натриевой селитры снизило содержание макроэлемента в сельскохозяйственной культуре на 0,25%. Добавление бора к нитрату натрия статистически значимо повысило содержание калия в растениях льна-долгунца по сравнению с вариантом, где применяли только нитратную форму азота. Содержание макроэлемента в данном варианте составляло 1,6%, прибавка от бора – 5,71%. Но даже совместное внесение натриевой селитры и борной кислоты не помогло достигнуть контрольных значений показателя, снижение содержания калия в данном варианте по сравнению с вариантом без внесения удобрений составляло 0,17%, или 9,42% к контролю.

Достоверное уменьшение содержания калия было отмечено в варианте с внесением мочевины и бора. Содержание калия здесь составляло 1,71%, что ниже контроля на 3,39%.

Применение разных форм азота и бора оказало влияние и на вынос растениями льна-долгунца макроэлементов (табл. 4).

Таблица 4

Влияние разных форм азота и бора на вынос макроэлементов растениями льна-долгунца сорта Цезарь

№	Вариант	Вынос, мг/сосуд	Прибавка к контролю		Прибавка от бора	
			мг/сосуд	%	мг/сосуд	%
N						
1	Контроль	117,5	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	313,6	196,1	166,9	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	347,8	230,3	196,0	34,2	10,9
4	NaNO ₃	256,8	139,2	118,5	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	300,2	182,6	155,4	43,4	16,9
6	CO(NH ₂) ₂	317,1	199,6	169,9	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	333,5	216,0	183,8	16,4	5,2
НСП ₀₅		30,9				
P₂O₅						
1	Контроль	59,2	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	102,8	43,6	73,7	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	125,6	66,4	112,1	22,7	22,1
4	NaNO ₃	94,0	34,8	58,8	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	109,4	50,2	84,8	15,4	16,4
6	CO(NH ₂) ₂	105,3	46,0	77,8	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	109,4	50,2	84,8	4,2	4,0
НСП ₀₅		8,6				
K₂O						
1	Контроль	166,4	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	388,4	222,0	133,4	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	401,9	235,5	141,5	13,5	3,5
4	NaNO ₃	299,3	132,9	79,9	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	341,5	175,1	105,3	42,2	14,1
6	CO(NH ₂) ₂	375,6	209,3	125,8	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	381,9	215,5	129,5	6,3	1,7
НСП ₀₅		22,9				

Table 4

**Effect of different forms of nitrogen and boron on the removal of macroelements
by fiber flax of the Caesar variety**

№	Option	Removal, mg/vessel	Increased control		Increase from boron	
			mg/vessel	%	mg/vessel	%
N						
1	Control	117.5	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	313.6	196.1	166.9	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	347.8	230.3	196.0	34.2	10.9
4	NaNO ₃	256.8	139.2	118.5	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	300.2	182.6	155.4	43.4	16.9
6	CO(NH ₂) ₂	317.1	199.6	169.9	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	333.5	216.0	183.8	16.4	5.2
NSR ₀₅		30.9				
P₂O₅						
1	Control	59.2	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	102.8	43.6	73.7	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	125.6	66.4	112.1	22.7	22.1
4	NaNO ₃	94.0	34.8	58.8	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	109.4	50.2	84.8	15.4	16.4
6	CO(NH ₂) ₂	105.3	46.0	77.8	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	109.4	50.2	84.8	4.2	4.0
NSR ₀₅		8.6				
K₂O						
1	Control	166.4	–	–	–	–
2	(NH ₄) ₂ SO ₄	388.4	222.0	133.4	–	–
3	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	401.9	235.5	141.5	135	3.5
4	NaNO ₃	299.3	132.9	79.9	–	–
5	NaNO ₃ + H ₃ BO ₃	341.5	175.1	105.3	42.2	14.1
6	CO(NH ₂) ₂	375.6	209.3	125.8	–	–
7	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ BO ₃	381.9	215.5	129.5	6.3	1.7
NSR ₀₅		22.9				

Хозяйственный вынос азота сельскохозяйственной культурой находился в пределах 117,5-347,8 мг/сосуд. Внесение и аммонийной, и нитратной, и амидных форм азота положительно влияло на обсуждаемый показатель. Во всех вариантах была достигнута достоверная прибавка, которая составляла 118,5-169,9% к контролю. Однако добавление к азотным удобрениям бора еще увеличило вынос

макроэлемента. Статистически значимая прибавка от действия микроэлемента была получена в вариантах с его совместным внесением с сульфатом аммония и с натриевой селитрой, составляя 10,9 и 16,9% соответственно. Добавление к мочеvine борной кислоты также повысило вынос азота растениями технической культуры на 5,2%, но полученная прибавка оказалась в пределах ошибки.

Вынос фосфора растениями льна-долгунца сорта Цезарь увеличивался при внесении разных форм азотных удобрений и бора (табл. 4). Если рассматривать влияние только разных форм азота, то можно отметить, что наибольший вынос макроэлемента был зафиксирован при внесении амидной формы азота, когда составил 105,3 мг/сосуд, превышение контроля – на 77,8%. Однако близкие значения данного показателя были обнаружены при внесении аммонийной формы азота, вынос фосфора технической культурой составил 102,8 мг/сосуд, превышение контроля – на 73,7%. Достоверное увеличение выноса зольного элемента питания было получено и в варианте с внесением только натриевой селитры.

Стоит отметить, что добавление борного удобрения повысило вынос фосфора во всех вариантах на 84,8-112,1% к контролю. Статистически значимое действие бора на вынос фосфора проявилось только при внесении микроэлемента совместно с сульфатом аммония и с натриевой селитрой, когда прибавка от бора составляла 22,1 и 16,4% соответственно.

На вынос калия растениями льна-долгунца сорта Цезарь также повлияло внесение разных форм азота и бора (табл. 4). Высокий вынос макроэлемента был зафиксирован при внесении аммонийной формы азота и составлял 388,4 мг/сосуд, превышая контрольные значения на 133,4%. Амидная форма азота также повысила вынос калия растениями льна-долгунца. Вынос зольного элемента питания в данном варианте составлял 375,6 мг/сосуд – на 125,8% выше обсуждаемого показателя в варианте без удобрений. Добавление бора к азоту повысило вынос калия во всех вариантах, но достоверное увеличение показателя было отмечено только при внесении сернокислого аммония и натриевой селитры. Наибольший вынос макроэлемента был зафиксирован при совместном применении сульфата аммония и борной кислоты, когда составлял 401,9 мг/сосуд и был на 141,5 выше контроля, прибавка от бора составила 3,5%. Совместное внесение натриевой селитры и борной кислоты увеличило вынос калия льном-долгунцом на 105,3% к контролю, прибавка от действия борной кислоты составила 14,1%.

Итак, лен-долгунец очень требователен к минеральному режиму и сильно реагирует на недостаток питательных веществ в почве [5]. Это объясняется сравнительно неглубоким расположением корневой системы, ее низкой поглотительной способностью и довольно коротким промежутком времени, в течение которого лен-долгунец потребляет основную массу элементов минерального питания [6]. Считается, что лучшие формы азотных удобрений под лен-долгунец – сульфат аммония, аммиачная селитра и мочевины [7], что и подтвердилось в нашей работе. При внесении аммонийной и амидной форм азота увеличивались урожайность льна-долгунца сорта Цезарь, содержание сухого вещества, азота в растениях сельскохозяйственной культуры (табл. 1-3). Согласно полученным данным урожайность льна-долгунца увеличивалась при применении азотных удобрений, однако с учетом того, что при закладке опыта фосфорные удобрения не вносились, содержание подвижных форм данного макроэлемента в почве снижалось, и техническая культура испытывала недостаток питательного вещества, что и наблюдалось нами (табл. 3). Содержание калия в растениях льна-долгунца снижалось только в варианте с применением натриевой селитры. Скорее всего внесение данного удобрения насыщало почвенный раствор катионами натрия и ухудшало питание льна-долгунца калием (табл. 3).

Лен-долгунец особенно чувствителен к недостаточному содержанию бора в почве [7]. Микроэлемент активно участвует в обменных процессах, его недостаток ведет к отмиранию точек роста, гибели растений сразу же после разворачивания семядолей и при наличии одной-двух пар листьев [8]. При хорошей обеспеченности кальцием и фосфором сильнее проявляется недостаток бора [6]. Так, и в наших исследованиях при использовании для закладки опыта хорошо окультуренной почвы, имеющей 5 класс по степени кислотности, 5 класс по содержанию подвижного фосфора, 90%-ную степень насыщенности основаниями, добавление данного микроэлемента к азотному удобрению увеличивало урожай технической культуры, содержание азота и вынос льном-долгунцом макроэлементов (табл. 1, 3-4).

Выводы

Результаты исследований показали, что внесение азотных удобрений в дозе 50 мг N/kg почвы вне зависимости от формы, в которой находится элемент питания, повышает урожайность льна-долгунца, содержание сухого вещества в технической культуре. Добавление бора в дозе 1,67 мг В/kg почвы к сернокислому аммонийному и натриевой селитре увеличивает урожай льна-долгунца на 5,05 и 7,94% по сравнению с вариантами без внесения микроэлемента. Однако содержание сухого вещества в растениях технической культуры при совместном применении азотных удобрений и бора повышается только при добавлении борной кислоты к сульфату аммония, когда прибавка от бора составляет 7,86%.

Результаты вегетационного опыта также показали, что применение сернокислого аммония и мочевины увеличивает содержание в растениях сельскохозяйственной культуры азота на 15,47 и 16,27% по сравнению с контролем. Внесение азотных удобрений снижает содержание в растениях льна-долгунца фосфора, причем добавление бора к сульфату аммония, а также к натриевой селитре достоверно повышает содержание макроэлемента в культуре по сравнению с вариантами без применения борной кислоты. Внесение натриевой селитры уменьшает содержание калия в растениях льна-долгунца на 0,25%.

Согласно проведенным исследованиям применение азотных удобрений в аммонийной, нитратной и амидной формах повышает вынос растениями льна-долгунца азота, фосфора и калия. Добавление бора к сернокислому аммонiu и натриевой селитре увеличивает вынос азота на 10,9 и 16,9%, а фосфора – на 16,4 и 22,1%. Совместное применение азотнокислого натрия и борной кислоты также повышает вынос льном-долгунцом калия, когда прибавка от внесения микроэлемента составляет 14,1%.

Список источников

1. Малахова Ю.Е., Кидин В.В. Доступность ячменно элементов минерального питания из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы. Плодородие. 2012;№ 4(67):28-30.
2. Рожмина Т.А., Павлова Л.Н., Поназhev В.П., Захарова Л.М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;1:3-8.
3. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 24.07.2023).
4. Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И. и др. Практикум по агрохимии. Москва: КолосС, 2008:599.
5. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Продуктивность и качество льна-долгунца при применении минеральных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом Контролфит // Аграрный научный журнал. 2022;7:22-26. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp22-26>.
6. Налиухин А.Н. Почвенная диагностика азотного питания льна-долгунца. Агрохимия. 2016;7:24-36.
7. Артюшин А.М., Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. и др. Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: Учебное пособие. Москва: Агропромиздат, 1991:223.
8. Петрова А.А., Смирнова Т.И., Павлов М.Н. и др. Стимулирующее действие боросодержащих хелатных комплексов на лен-долгунец // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия». 2020;2(40):143-149. <https://doi.org/10.26456/vtchem2020.2.18>.

Сведения об авторах

Юлия Евгеньевна Гусева, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; uguseva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5307-421X>

Галина Алексеевна Смолина, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, канд. биол. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

References

1. Malakhova Yu.E., Kidin V.V. Availability of mineral nutrition elements to barley from different horizons of sod-podzol soil. Plodorodie. 2012;4(67):28-30. (In Rus.)
2. Rozhmina T.A., Pavlova L.N., Ponazhev V.P., Zakharova L.M. Flax industry is on the road to revival. Plant Protection and Quarantine. 2018;1:3-8. (In Rus.)
3. Sown areas, gross yields and yields of agricultural crops in the Russian Federation in 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (Access date: 07.24.2023).
4. Kidin V.V., Deryugin I.P., Kobzarenko V.I. et al. Practical course on agrochemistry. Moscow: KolosS, 2008:599. (In Rus.)
5. Konova A.M., Gavrilova A.Yu. Productivity and quality of fiber flax when using mineral fertilizers and foliar feeding of plants with Controlfit. The Agrarian Scientific Journal. 2022;7:22-26. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp22-26> (In Rus.)
6. Naliukhin A.N. Soil diagnostics of nitrogen nutrition of fiber flax. Agrohimia. 2016;7:24-36. (In Rus.)
7. Artyushin A.M., Deryugin I.P., Kulyukin A.N. et al. Fertilizer in intensive technologies for cultivating agricultural crops: textbook. Moscow: Agropromizdat, 1991:223. (In Rus.)
8. Petrova A.A., Smirnova T.I., Pavlov M.N. et al. Stimulating effect of boron-containing chelate complexes on fiber flax. Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Series: Chemistry. 2020;2(40):143-149. <https://doi.org/10.26456/vtchem2020.2.18> (In Rus.)

Information about the authors

Yuliya E. Guseva, CSc (Bio), Associate Professor of Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); uguseva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5307-421X>.

Galina A. Smolina, CSc (Bio), Associate Professor of Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434,

государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; gsmolina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2730-4595>

Алексей Максимович Пронин, магистрант 1 года обучения, направление подготовки 35.04.03. Агрохимия и агропочвоведение, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; alex.poganel@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1201-9094>

Статья поступила в редакцию 31.10.2023
Одобрена после рецензирования 01.12.2023
Принята к публикации 04.12.2023

Russian Federation); gsmolina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2730-4595>.

Aleksey M. Pronin, Master's Degree student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); alex.poganel@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1201-9094>.

The article was submitted to the editorial office 31 Oct 2023
Approved after reviewing 01 Dec 2023
Accepted for publication 04 Dec 2023

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья
УДК 547.992.2: 631.445.4
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-96-106>



Элементный состав гуминовых кислот гранулометрических фракций
чернозема типичного целинного

Владимир Григорьевич Мамонтов, Светлана Алексеевна Беляева, Алексей Михайлович Поляков

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

Автор, ответственный за переписку: Светлана Алексеевна Беляева; e-mail: belyaevasa@inbox.ru

Аннотация. Стабилизация гумусового профиля почв во многом обусловлена взаимодействием органических и минеральных веществ и характером сформировавшихся органо-минеральных производных. Поскольку основу гумуса черноземов составляют гуминовые кислоты, то изучение их органо-минеральных производных имеет большое теоретическое и практическое значение. Цель работы – изучить элементный состав гуминовых кислот, различных фракций гранулометрических элементов (пыль крупная, пыль средняя, пыль мелкая, илистая фракция) чернозема типичного целинного. Фракции гранулометрических элементов выделяли из почвенного образца, предварительно обработанного ультразвуком в течение 20 мин при 25 кГц методом отмучивания при соотношении почва: дистиллированная вода, равном 1:100. Экстрагирование гуминовых кислот из гранулометрических фракций проводили 0,1 н. раствором NaOH после предварительного декальцинирования образцов, очистку от примесей – центрифугированием и диализом. В препаратах гуминовых кислот определяли зольность весовым методом, содержание С, Н, N – на автоматическом анализаторе CHNS-vario Microcube, количество О находили по разности, степень окисленности и теплоту сгорания рассчитывали по эмпирическим формулам. Согласно полученным данным в элементном составе гуминовых кислот преобладает углерод, содержание которого составило 38,3-40,0 ат.%. Меньше всего они содержат азота – 2,2-2,5 ат.%, количество водорода составляет 36,5-37,9 ат.%, а кислорода – 21,3-21,7 ат.%. Судя по величинам атомных отношений Н: С и С: N, которые при переходе от гуминовых кислот фракции пыли крупной к гуминовым кислотам илистой фракции последовательно изменяются с 1,62 до 1,74 и с 18,2 до 15,3 соответственно, чем меньше размер фракций гранулометрических элементов, тем в большей мере приуроченные к ним гуминовые кислоты обогащены алифатическими азотсодержащими компонентами. При этом гуминовые кислоты всех гранулометрических фракций являются окисленными соединениями, о чем свидетельствует степень их окисленности, варьирующая в пределах +0,12-+0,17.

Ключевые слова: чернозем типичный целинный, гранулометрические фракции, элементный состав, гуминовые кислоты, атомные отношения, степень окисленности.

Благодарность. Статья подготовлена по итогам научных исследований программы «Приоритет 2030».

Для цитирования: Мамонтов В.Г., Беляева С.А., Поляков А.М. Элементный состав гуминовых кислот гранулометрических фракций чернозема типичного целинного // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 96-106. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-96-106>

© Мамонтов В.Г., Беляева С.А., Поляков А.М., 2023

SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-96-106>



Elemental Composition of Humic Acids of Granulometric Fractions in Typical Virgin Chernozem

Vladimir G. Mamontov, Svetlana A. Belyaeva, Aleksey M. Polyakov

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

Corresponding author: Svetlana A. Belyaeva, belyaevasa@inbox.ru

Abstract. The stabilization of the humus profile of soils is largely due to the interaction of organic and mineral substances and the nature of the organo-mineral derivatives formed. Since humic acids form the basis of the humus of chernozems, the study of their organo-mineral derivatives is of great theoretical and practical importance. The purpose of the work is to study the elemental composition of humic acids, various granulometric fractions (coarse dust, medium dust, fine dust,

silty fraction) of the typical virgin chernozem. The granulometric fractions were isolated from a soil sample pretreated with ultrasound for 20 min at 25 kHz, using the elutriation method, with a ratio of soil to distilled water equal to 1:100. Extraction of humic acids from the granulometric fractions was carried out with 0.1 n. NaOH solution after preliminary decalcification of samples, purification from impurities by centrifugation and dialysis. In humic acid preparations, the ash content was determined by the weight method, the content of C, H, N was determined on the CHNS-vario Microcube automatic analyzer, the amount of O was determined by the difference, the oxidation level and the heat of combustion were calculated using empirical formulae. According to the data obtained, carbon dominates in the elemental composition of humic acids, the content of which was 38.3-40.0 at.%. They contain the least nitrogen (2.2-2.5 at.%), the amount of hydrogen is 36.5-37.9 at.%, and that of oxygen is 21.3-21.7 at.%. Judging by the values of the H: C and C: N atomic ratios, which consistently change from 1.62 to 1.74 and from 18.2 to 15.3, respectively, at the transition from the humic acids of the coarse-dust fraction to the humic acids of the silt fraction, the smaller the size of the granulometric fractions, the more the humic acids associated with them are enriched with aliphatic nitrogen-containing components. At the same time, humic acids of all the granulometric fractions are oxidized compounds, as evidenced by their oxidation level, which varies in the range +0.12-+0.17.

Keywords: typical virgin chernozem, granulometric fractions, elemental composition, humic acids, atomic ratios, oxidation level

Acknowledgement. The article is based on the results of scientific research within the framework of the Priority 2030 programme.

For citation: Mamontov V.G., Belyaeva S.A., Polyakov A.M. Elemental Composition of Humic Acids of Granulometric Fractions in Typical Virgin Chernozem. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;3:96-106. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-96-106> (In Rus.)

© Mamontov V.G., Belyaeva S.A., Polyakov A.M., 2023

Введение

Характерная особенность черноземов – высокое содержание гумуса в верхнем гумусоаккумулятивном горизонте, который придает им темную, почти черную, окраску и оказывает непосредственное влияние на многие свойства этих почв.

Важнейшим компонентом гумуса черноземов являются гуминовые кислоты (ГК). Об этом весьма ярко свидетельствует состав гумуса данных почв, который относится к фульватно-гуматному или гуматному типу, что указывает на резкое преобладание ГК над группой фульвокислот и неспецифических органических соединений [1-3].

ГК представляют собой сложную гетерогенную полидисперсную систему, легко расчленяющуюся на ряд фракций, которые при однотипном строении несколько различаются между собой по размеру частиц, составу и свойствам. При этом все фракции ГК обладают большим набором разнообразных функциональных групп, благодаря которым активно взаимодействуют с минеральными компонентами почвы с формированием различных органо-минеральных производных. В зависимости от характера образующихся соединений они могут или мигрировать в почвенном профиле, или же накапливаться на месте своего образования, участвуя таким образом в формировании мощных гумусоаккумулятивных горизонтов [2, 4].

Основу твердой фазы почвы формируют элементарные почвенные частицы различного размера, преимущественно минеральной природы. В соответствии с размером они объединяются во фракции гранулометрических элементов и формируют один из иерархических уровней структурной организации почвы [2, 5]. Поверхность элементарных почвенных частиц представляет собой своеобразную матрицу, непосредственно взаимодействующую с водой, катионами, микроорганизмами, ферментами, органическими веществами и корневыми системами растений [5].

Компоненты, формирующие почвенную матрицу (элементарные почвенные частицы), весьма неоднородны по своему составу и свойствам [2, 5-8]. Частицы крупного размера представлены в основном первичными минералами (кварц, полевые шпаты и др.), которые в значительной степени инертны по отношению к адсорбционным процессам. По мере уменьшения размера почвенных частиц изменяется их химический и минералогический состав, в результате чего они начинают принимать все более активное участие в явлениях адсорбции, протекающих в почве [2, 5, 7, 9]. Поэтому можно предположить, что разные фракции гранулометрических элементов в неодинаковой степени будут участвовать в закреплении гумусовых веществ, в том числе и ГК, в твердой фазе почвы.

Одной из главных характеристик любого органического соединения является его элементный состав. Этот показатель используют не только для отнесения органических соединений к классу гумусовых кислот почвы, но и для оценки характера их трансформации под влиянием природных и антропогенных факторов [2, 4, 10, 11].

Обычно элементный состав определяют в препаратах ГК, полученных при предельном извлечении их из почвенного образца, что дает представление об элементном составе всей совокупности ГК почвы [10, 12]. Реже анализируют отдельные фракции ГК, различающиеся между собой формой связи с минеральными компонентами почвы [13, 14]. Однако сведения о свойствах ГК, приуроченных к разным фракциям гранулометрических элементов почвы, в литературе практически отсутствуют.

Цель исследований – выявить особенности элементного состава гуминовых кислот, различных фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного.

Методика исследований

Объектом исследований служил чернозем типичный на карбонатном лессовидном суглинке: Naplic Chernozem (Loamic, Pachic). Образцы целинного чернозема под некосимой степью отбирали в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина из гумусоаккумулятивного горизонта А мощностью 0-20 см. Общие свойства этого объекта изучены подробно и освещены в литературе [15, 16].

Фракции гранулометрических элементов (пыль крупная, пыль средняя, пыль мелкая, илистая фракция) выделяли методом отмучивания при соотношении почва: дистиллированная вода, равном 1:100, начиная с илистой фракции и далее – по мере увеличения размера фракций, и высушивали на водяной бане. Перед выделением гранулометрических фракций почвенная суспензия была подвергнута обработке ультразвуком на установке УЗДН-2Т в течение 20 мин при 25 кГц [5].

Экстрагирование ГК из гранулометрических фракций и их очистку от примесей проводили по общепринятой методике [12]. В препаратах ГК определяли зольность весовым методом, содержание С, Н, N – на автоматическом анализаторе CHNS-vario Microcube, количество О находили по разности, степень окисленности и теплоту сгорания рассчитывали по эмпирическим формулам [12]. Содержание органического углерода во фракциях гранулометрических элементов, % от массы почвы, находили с учетом содержания каждой фракции в почве по данным гранулометрического анализа.

Результаты и их обсуждение

Фракции гранулометрических элементов существенно различаются между собой своим минералогическим составом (табл. 1).

Таблица 1

Минералогический состав фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, % [5]

Фракция	Первичные минералы		Глинистые минералы	
	всего	кварц	всего	смешанослой-ные смектиты
Пыль крупная	96,2	63,1	3,8	нет
Пыль средняя	87,0	59,7	13,0	нет
Пыль мелкая	62,5	37,4	37,5	8,5
Ил	15,0	15,0	85,0	41,5

Table 1

Mineralogical composition of granulometric fractions in typical virgin chernozem, % [5]

Fractions	Source minerals		Clay minerals	
	total	crystalline silica	total	mixed lattice smectites
Coarse dust	96.2	63.1	3.8	none
Medium dust	87.0	59.7	13.0	none
Fine dust	62.5	37.4	37.5	8.5
Silty fraction	15.0	15.0	85.0	41.5

По мере уменьшения размера частиц в них снижается содержание первичных минералов, особенно при переходе к частицам пыли мелкой и илистой фракции, тогда как количество вторичных глинистых минералов заметно возрастает. При этом смешанослойные образования, содержащие разбухающий смектитовый компонент, преимущественно приурочены к фракции мелкой пыли и особенно к илистой фракции. С учетом того, что первичные минералы преимущественно формируют довольно инертную часть почвенной матрицы, можно допустить различное участие фракций гранулометрических элементов в сорбции и закреплении органических веществ почвы, а также неодинаковую устойчивость и доступность микроорганизмам сформировавшихся органо-минеральных производных.

Согласно полученным данным фракции гранулометрических элементов чернозема существенно различаются содержанием органического углерода (табл. 2).

Таблица 2

Распределение органического углерода по фракциям гранулометрических элементов чернозема типичного целинного

Показатель	Пыль крупная	Пыль средняя	Пыль мелкая	Ил
% от массы фракции	1,95	7,74	9,90	7,35
% от массы почвы	0,67	0,95	1,53	2,43
% от общего С почвы	12,0	17,0	27,4	43,6

Table 2

Distribution of organic carbon among granulometric fractions in typical virgin chernozem

Indicator	Coarse dust	Medium dust	Fine dust	Silty fraction
% by weight of fraction	1.95	7.74	9.90	7.35
% by weight of soil	0.67	0.95	1.53	2.43
% of total soil C	12.0	17.0	27.4	43.6

Как следует из данных таблицы 2, содержание органического углерода весьма неравномерно распределяется по фракциям гранулометрических элементов чернозема. Самое низкое его количество (1,95%) содержит фракция пыли крупной, а самое высокое (9,90%) – фракция пыли мелкой. В илистой фракции и фракции пыли средней содержание органического углерода находится примерно на одинаковом уровне и составляет 7,35-7,74% соответственно. Однако если учесть количество каждой фракции гранулометрических элементов в почве, то содержание в них органического углерода приобретает несколько иную и более четко выраженную закономерность.

Самое низкое содержание органического углерода (0,67%) присуще также фракции пыли крупной. Во фракции пыли средней его количество возрастает почти в 1,5 раза и достигает 0,95%. Еще более высокое содержание органического углерода (1,53%) характерно для фракции пыли мелкой. В наибольшей мере органическим веществом обогащена илистая фракция, где содержание органического углерода составило 2,43%, или 44% от общего количества органического углерода почвы. При этом следует отметить, что довольно заметную роль в закреплении органических соединений почвы играет фракция пыли мелкой, в которой локализовано почти 30% всего органического углерода почвы.

Наши результаты согласуются с ранее полученными данными [7, 13, 17]. В частности, отмечается, что в тонкодисперсных фракциях дерново-подзолистой почвы размером до 10 мкм сосредоточено до 60-80% органического углерода [13].

Поскольку в черноземах типичных на долю ГК приходится около 50% от всех органических соединений [1-3], то можно предположить, что преимущественно они и будут приурочены к фракциям пыли мелкой и ила, образуя органо-минеральные производные с различной устойчивостью и доступностью микроорганизмам.

Согласно полученным данным ГК фракций гранулометрических элементов чернозема типичного характеризуются довольно схожим элементным составом (табл. 3).

Таблица 3

Элементный состав ГК фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, М±m, мас.% на сухое беззольное вещество

Фракция	Зольность, %	С	Н	N	О
Пыль крупная	3,57±0,76	54,03±0,26	4,14±0,10	3,51±0,07	38,32±0,24
Пыль средняя	1,28±0,05	52,94±0,04	4,18±0,02	3,70±0,08	39,18±0,11
Пыль мелкая	4,55±0,01	52,65±0,09	4,24±0,08	3,82±0,05	39,29±0,12
Ил	4,74±0,06	52,55±0,15	4,38±0,02	4,08±0,02	38,99±0,11

Table 3

Elemental composition of humic acids of granulometric fractions in typical virgin chernozem, M±m, wt.% per dry ash-free matter

Fractions	ash-content, %	C	H	N	O
Coarse dust	3.57±0.76	54.03±0.26	4.14±0.10	3.51±0.07	38.32±0.24
Medium dust	1.28±0.05	52.94±0.04	4.18±0.02	3.70±0.08	39.18±0.11
Fine dust	4.55±0.01	52.65±0.09	4.24±0.08	3.82±0.05	39.29±0.12
Silty fraction	4.74±0.06	52.55±0.15	4.38±0.02	4.08±0.02	38.99±0.11

Содержание элементов варьирует в следующих пределах: углерод – 52,55-54,03 мас.%; водород – 4,14-4,38 мас.%; азот – 3,51-4,08 мас.%; кислород – 38,32-39,29 мас.%. Такой элементный состав является типичным для ГК, поскольку укладывается в характерные для них значения. Об этом можно судить на основании работы [18], авторы которой, обобщив данные 410 препаратов ГК, полученных из разных источников, пришли к выводу о том, что содержание основных элементов в ГК колеблется в следующих пределах: С – 37,18-75,76 мас.%; Н – 1,64-11,68 мас.%; N – 0,50-10,54 мас.%; О – 7,93-56,6 мас.%.

Характерной особенностью ГК как группы веществ является гетерогенность. Она обусловлена наличием в их составе компонентов, находящихся на разных стадиях гумификации. В связи с этим элементный состав отдельных фракций ГК не бывает идентичным [14].

По нашим данным, наиболее существенные различия в элементном составе наблюдаются между ГК фракции пыли крупной и илистой фракции, которые отличаются между собой содержанием всех химических элементов, входящих в состав ГК. При этом наиболее заметная разница между ними связана с содержанием углерода и кислорода. В остальных случаях различия между ГК гранулометрических фракций касаются не всех химических элементов. Так, элементный состав ГК фракции пыли крупной отличается от элементного состава ГК фракций пыли средней и мелкой содержанием углерода, азота и кислорода, тогда как отличия между ГК фракций пыли средней и мелкой обусловлены только содержанием углерода. Различия между ГК фракций пыли средней и ила касаются содержания углерода, водорода и азота, а пыли мелкой и ила – содержания водорода, азота и кислорода. При этом по содержанию некоторых элементов ГК разных фракций гранулометрических элементов достоверно не отличаются друг от друга: по содержанию углерода – ГК фракций пыли мелкой и ила; по содержанию водорода – ГК всех пылеватых фракций; по содержанию азота – ГК фракций пыли средней и мелкой; по содержанию кислорода – ГК фракций пыли средней и мелкой, пыли средней и ила.

Гумусовые вещества почвы служат важнейшим источником энергии, необходимой для протекания в почве многочисленных биологических и абиотических реакций и процессов. Их энергетический потенциал можно оценить по теплоте сгорания, определив ее расчетным путем на основании данных элементного анализа, выраженного в мас.% [4, 12]. Величины теплоты сгорания ГК гранулометрических фракций чернозема типичного целинного приведены в таблице 4.

Как следует из полученных данных, самая высокая теплота сгорания, равная 16,92 кДж/г, присуща ГК фракции крупной пыли. Однако она недостоверно отличается от величины теплоты сгорания ГК илистой фракции, которая составила 16,75 кДж/г. Теплота сгорания ГК фракций пыли средней и мелкой оказалась лишь немного меньшей и составила 16,49-16,51 кДж/г.

Таблица 4

Теплота сгорания ГК различных гранулометрических фракций чернозема типичного целинного, М±m, кДж/г

Пыль крупная	Пыль средняя	Пыль мелкая	Ил
16,92±0,19	16,51±0,10	16,49±0,03	16,75±0,06

Table 4

Combustion heat of humic acids of granulometric fractions in typical virgin chernozem, M±m, kJ/g.

Coarse dust	Medium dust	Fine dust	Silty fraction
16.92±0.19	16.51±0.10	16.49±0.03	16.75±0.06

Результаты элементного анализа, выраженные в мас.%, и найденный на их основе показатель позволяют получить определенную информацию о составе и некоторых свойствах ГК чернозема. Однако, по мнению известного ученого в области химии гумуса Д.С. Орлова [4], данные элементного состава, выраженные в мас.%, не дают истинного представления о том, какую роль играют отдельные химические элементы в формировании молекул гумусовых веществ, и об изменениях, которые они претерпевают под влиянием природных и антропогенных факторов. Истинное представление можно получить лишь в том случае, когда элементный состав гумусовых кислот выражается в атомных процентах.

Элементный состав ГК в мас.% отличается от такового, выраженного в ат.% (табл. 5).

В первом случае среди химических элементов явно доминирует углерод, содержание которого превосходит остальные элементы в 1,3-15,4 раза, вторым по значимости элементом является кислород. При выражении элементного состава ГК в ат.% углерод также является преобладающим элементом, однако вторым по значимости элементом становится водород, который по своему содержанию приближается к углероду. При этом превышение углерода над азотом, и особенно кислородом, становится более явственным.

Согласно данным таблицы 3 по элементному составу между ГК фракций гранулометрических элементов имеется как сходство, так и различия. Так, ГК фракции пыли крупной по сравнению с ГК остальных фракций содержат больше углерода на 0,8-1,7 ат.%, но на 0,2-0,3 ат.% меньше азота. По сравнению с ГК пыли средней и мелкой они содержат на 0,4 ат.% меньше кислорода, а по сравнению с ГК илистой фракции – на 1,4 ат.% меньше водорода.

Таблица 5

Элементный состав ГК фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, М±m, ат.%

Фракция	С	Н	N	O
Пыль крупная	40,0±0,5	36,5±0,6	2,2±0,1	21,3±0,1
Пыль средняя	39,2±0,2	36,7±0,2	2,4±0,1	21,7±0,1
Пыль мелкая	38,7±0,1	37,1±0,4	2,5±0,1	21,7±0,2
Ил	38,3±0,2	37,9±0,3	2,5±0,1	21,3±0,1

Table 5

Elemental composition of humic acids of granulometric fractions in typical virgin chernozem, M±m, atomic%

Fractions	C	H	N	O
Coarse dust	40.0±0.5	36.5±0.6	2.2±0.1	21.3±0.1
Medium dust	39.2±0.2	36.7±0.2	2.4±0.1	21.7±0.1
Fine dust	38.7±0.1	37.1±0.4	2.5±0.1	21.7±0.2
Silty fraction	38.3±0.2	37.9±0.3	2.5±0.1	21.3±0.1

ГК фракции пыли средней содержат по сравнению с ГК фракции пыли мелкой и илистой фракции на 0,5 и 0,9 ат.% больше углерода, а по сравнению с ГК илистой фракции – на 1,2 ат.% меньше водорода. По сравнению с ГК илистой фракции ГК фракции пыли мелкой содержат на 0,4 ат.% больше углерода и кислорода и на 0,7 ат.% меньше водорода. Наряду с этим по содержанию некоторых элементов ГК разных гранулометрических фракций чернозема не отличаются друг от друга. В частности, по содержанию азота близки между собой ГК фракций пыли средней, мелкой и ила, по содержанию водорода – все пылеватые фракции, а по содержанию кислорода – ГК фракций пыли крупной и ила, ГК фракций пыли средней и мелкой.

Таким образом, оценка элементного состава ГК в ат.% позволяет получить более углубленную характеристику их особенностей и выявить реальные сходства и различия по этому показателю. Полученные результаты дают представление о ГК чернозема как о сложной гетерогенной системе веществ, распределяющихся по гранулометрическим фракциям элементарных почвенных частиц в соответствии с особенностями их состава и свойств.

Использование данных элементного состава в ат.% позволяет выявить особенности построения углеродного скелета гумусовых веществ, определить степень их окисленности и обогащенности азотом. Для этого находят величины атомных отношений Н: С, О: С и С: N, которые показывают, какое количество атомов углерода приходится на один атом водорода, кислорода или азота. Принято считать, что увеличение отношения Н: С свидетельствует о возрастании доли периферических алифатических цепочек в составе молекул гумусовых веществ, тогда как увеличение отношения С: N указывает на повышение обедненности молекул гумусовых веществ азотом [4, 11].

Найденные величины атомных отношений и степени окисленности ГК фракций гранулометрических элементов чернозема приведены в таблице 6.

Как следует из данных таблицы 6, ГК всех фракций гранулометрических элементов чернозема являются окисленными соединениями, о чем свидетельствует положительная степень их окисленности, варьирующая от +12 до +17. При этом самая низкая степень окисленности характерна для ГК, приуроченных к илистой фракции, тогда как ГК пылеватых фракций характеризуются более близкой степенью окисленности.

Согласно полученным данным наблюдается отчетливо выраженная тенденция уменьшения доли конденсированных циклических структур, обедненных азотсодержащими группировками, в составе молекул ГК при переходе от фракции пыли крупной к илистой фракции. Об этом можно судить по величине отношения Н: С, которая последовательно возрастает с 1,62 у ГК фракции пыли крупной до 1,68 у ГК фракции пыли средней, до 1,71 у ГК фракции пыли мелкой и до 1,74 у ГК илистой фракции. Такое изменение величины отношения Н: С свидетельствует о том, что при переходе от ГК фракции пыли крупной к ГК илистой фракции в составе их молекул последовательно возрастает доля алифатических фрагментов, и наоборот, уменьшается значимость ароматических структур.

Таблица 6

Атомные отношения и степень окисленности ГК фракций гранулометрических элементов чернозема типичного целинного, М±m

Фракция	Н: С _(испр)	О: С	С: N	ω
Пыль крупная	1,62±0,03	0,53±0,01	18,2±0,5	+0,15±0,02
Пыль средняя	1,68±0,01	0,55±0,01	16,3±0,3	+0,17±0,01
Пыль мелкая	1,71±0,02	0,56±0,01	15,5±0,1	+0,16±0,02
Ил	1,74±0,02	0,56±0,02	15,3±0,3	+0,12±0,01

Table 6

Atomic ratios and oxidation level of humic acids of granulometric fractions in typical virgin chernozem, M±m

Fractions	H: C _(corr.)	O: C	C: N	ω
Coarse dust	1.62±0.03	0.53±0.01	18.2±0.5	+0.15±0.02
Medium dust	1.68±0.01	0.55±0.01	16.3±0.3	+0.17±0.01
Fine dust	1.71±0.02	0.56±0.01	15.5±0.1	+0.16±0.02
Silty fraction	1.74±0.02	0.56±0.02	15.3±0.3	+0.12±0.01

Изменение величины отношения С: N в данном направлении носит противоположный характер и уменьшается с 18,2 у ГК фракции пыли крупной до 15,3 у ГК илистой фракции. Отсюда следует, что чем меньше размер фракций почвенных частиц, тем в большей мере сопряженные с ними ГК будут обогащены азотсодержащими группировками. Такой характер изменения величины отношений Н: С и С: N указывает на то, что по мере уменьшения размера фракций гранулометрических элементов возрастает обогащенность приуроченных к ним ГК алифатическими азотсодержащими фрагментами.

Отличия в вещественном составе между ГК разных фракций гранулометрических элементов, по-видимому, во многом обусловлены особенностями закрепления ГК минеральными компонентами соответствующих фракций. Обязательное звено любого типа почвообразования – формирование разнообразных органо-минеральных производных, обладающих неодинаковой устойчивостью к микробиологическому воздействию, что оказывает большое влияние на их состав и свойства [2, 4].

В черноземах наиболее характерным и широко представленным продуктом органо-минеральных взаимодействий являются гуматы кальция. Они заметно преобладают среди других органо-минеральных производных и во многом определяют особенности состава гумуса этих почв [1, 2]. Гуматы кальция, по-видимому, присутствуют во всех фракциях гранулометрических элементов. Однако в зависимости от характера минеральной основы гранулометрических фракций гуматы кальция могут как находиться в свободном состоянии, так и быть поглощенными и удерживаемыми с различной прочностью на поверхности алюмосиликатов.

Можно предположить, что отдельные фракции гранулометрических элементов неодинаково взаимодействуют с совокупностью фракций ГК, поскольку отличаются друг от друга своим химическим и минералогическим составом.

Согласно данным таблицы 1 фракция пыли крупной преимущественно состоит из первичных минералов, в основном участвующих в формировании довольно инертной части почвенной матрицы. Поэтому высока вероятность того, что гранулометрические элементы этой фракции в незначительной степени участвуют в поглощении и закреплении гумусовых веществ на своей поверхности. Исходя из этого, можно предположить, что ГК, приуроченные к фракции пыли крупной, преимущественно представлены свободными гуматами кальция, и лишь незначительная их часть удерживается в виде пленок на поверхности алюмосиликатов за счет адгезии, а в последующем – и когезии. Гуматы кальция являются довольно устойчивыми к микробиологическому воздействию продуктами органо-минеральных взаимодействий [14]. Однако относительно свободное нахождение гуматов кальция в твердой фазе почвы создает предпосылки для вовлечения их в минерализационные процессы. В этом случае микробиологической деструкции в первую очередь будут подвергаться наименее устойчивые азотсодержащие алифатические компоненты органических веществ фракции. Именно поэтому ГК фракции пыли крупной характеризуются самым широким отношением С: N и самым узким отношением Н: С среди всех исследованных фракций гранулометрических элементов.

По содержанию первичных минералов к фракции пыли крупной близка фракция пыли средней, но в отличие от фракции пыли крупной она содержит в 3,4 раза больше высокодисперсных глинистых минералов преимущественно гидрослюдистого состава, что отражается на характере ее взаимодействия с различными фракциями ГК.

При контакте фракции пыли средней с ГК не только формируются гуматы кальция, но и происходит прочное закрепление высокодисперсных фракций ГК на поверхности глинистых минералов за счет хемосорбции с формированием устойчивых к микробиологическому воздействию органо-минеральных адсорбционных комплексов. Вследствие этого ГК, сосредоточенные во фракции пыли средней, в меньшей мере будут доступны микроорганизмам, что отражается на величинах отношений Н: С и С: N, которые изменяются с 1,62 до 1,68 и с 18,2 до 16,3 соответственно. Это свидетельствует о том, что ГК фракции пыли средней являются соединениями, более обогащенными алифатическими азотсодержащими компонентами по сравнению с ГК фракции пыли крупной.

В результате взаимодействия ГК с частицами пыли мелкой формирование устойчивых органо-минеральных адсорбционных комплексов протекает гораздо активнее, нежели когда минеральной основой для них служат фракции пыли крупной и средней. Это обусловлено не только тем, что в составе фракции пыли мелкой заметно возрастает доля глинистых минералов, но и появлением в их числе смешанослойных образований, содержащих высокодисперсный смектитовый компонент, обладающий высокой адсорбционной способностью. Поэтому по сравнению с ГК, связанными с фракциями пыли средней и крупной, устойчивость ГК, приуроченных к фракции пыли мелкой, к микробиологическому воздействию повышается. Об этом можно судить по величинам отношений Н: С и С: N, которые равны 1,71 и 15,5 соответственно и свидетельствуют о том, что ГК фракции пыли мелкой в большей мере обогащены алифатическими азотсодержащими компонентами по сравнению с ГК фракций пыли средней и крупной.

Наиболее активно формирование устойчивых органо-минеральных адсорбционных комплексов происходит при взаимодействии ГК с илистой фракцией. Это обусловлено тем, что она на 85% состоит

из глинистых минералов, причем более 40% из них приходится на смешанослойные образования, содержащие высокодисперсный смектитовый компонент. В результате создаются благоприятные предпосылки для прочного закрепления различных фракций ГК, в том числе гуматов кальция, на поверхности высокодисперсных глинистых минералов, что предохраняет их от дальнейшей утилизации микроорганизмами и обеспечивает сохранение в составе их молекул алифатических азотсодержащих компонентов. Благодаря этому ГК илистой фракции отличаются от ГК всех остальных фракций гранулометрических элементов наиболее развитой периферической частью молекул и самой высокой обогащенностью азотом. На это указывают величины отношений Н: С и С: N, которые составили 1,74 и 15,3 соответственно.

Выводы

Элементный состав гуминовых кислот фракций гранулометрических элементов чернозема типичного колеблется в относительно узких пределах. Больше всего гуминовые кислоты содержат углерода (38,3-40,0 ат.%), меньше всего – азота (2,2-2,5 ат.%). Содержание водорода составило 36,5-37,9 ат.%, а содержание кислорода – 21,3-21,7 ат.%.

Такое варьирование элементного состава характеризует гуминовые кислоты чернозема типичного в двух аспектах. С одной стороны, оно свидетельствует о неоднородности группы гуминовых кислот, состоящей из отдельных фракций, находящихся на разных стадиях гумификации и поэтому несколько отличающихся друг от друга; с другой стороны, отражает неодинаковую доступность гуминовых кислот, локализованных в разных фракциях гранулометрических элементов, микроорганизмам, что отражается на их составе. Гуминовые кислоты, приуроченные к илистой фракции, вследствие образования устойчивых адсорбционных комплексов с глинистыми минералами в меньшей мере доступны микроорганизмам, нежели гуминовые кислоты, локализованные в пылеватых фракциях, и поэтому в большей степени обогащены алифатическими азотсодержащими компонентами. Об этом свидетельствует присущее гуминовым кислотам илистой фракции самое широкое отношение Н: С, равное 1,74, и самое узкое отношение С: N, составившее 15,3.

Список источников

1. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука. 1996:256.
2. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение: учебник, 2-е изд. М.: КНОРУС, 2023:554.
3. Турусов В.И., Говорова О.В., Коновалова Е.Я. Гумусное состояние почвы в зависимости от насыщения севооборотов зерновыми культурами. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023;1-2(76):55-57. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2023-1-2-55-57>
4. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк. 2005:558.
5. Мамонтов В.Г., Чинилин А.В., Рогова О.Б., Варламов Е.Б., Панова П.Ю. Химический и минералогический состав фракций гранулометрических элементов чернозема типичного Курской области. Известия ТСХА. 2018;6:5-16. –URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/01-2018-6.pdf/en/info>, <https://doi.org/10.34677/0021-342X-2018-1-5-16>
6. Асеева Е.Н., Самонова О.А. Сравнительный анализ результатов определения химических элементов в фоновых лесных почвах разными спектральными методами. Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022;5:3-15. – URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/1061>
7. Бойцова Л.В., Непримерова С.В., Зинчук Е.Г. Аккумуляция углерода органических соединений в тяжело-суглинистой дерново-подзолистой почве. Агрофизика. 2022;4:21-27. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.04.04>
8. Борисочкина Т.И., Кайданова О.В. Тяжелые металлы во фракциях разной дисперсности почв

References

1. Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. Organic matter of soils of the Russian Federation. M.: Nauka, 1996:256. (In Rus.)
2. Mamontov V.G. General soil science: textbook, 2nd ed. M.: KNORUS, 2023:554. (In Rus.)
3. Turusov V.I., Govorova O.V., Konovalova E.Ya. Humus status of the soil depending on the saturation of crop rotations with grain crops. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2023;1-2 (76):55-57. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2023-1-2-55-57> (In Rus.)
4. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Sukhanova N.I. Soil chemistry. M.: Vyssh. shk., 2005:558. (In Rus.)
5. Mamontov V.G., Chinilin A.V., Rogova O.B., Varlamov E.B., Panova P.Yu. Chemical and mineralogical composition of fractions of granulometric elements of typical chernozem of the Kursk region. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2018;6:5-16. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/01-2018-6.pdf/en/info>, <https://doi.org/10.34677/0021-342X-2018-1-5-16> (In Rus.)
6. Aseeva E.N., Samonova O.A. Comparative analysis of the results of determining chemical elements in background forest soils by different spectral methods. Lomonosov Geography Journal. 2022;5:3-15. URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/1061> (In Rus.)
7. Boytsova L.V., Nepriimerova S.V., Zinchuk E.G. Accumulation of carbon from organic compounds in heavy loamy soddy-podzolic soil. Agrophysica. 2022;4:21-27. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.04.04> (In Rus.)
8. Borisochkina T.I., Kaydanova O.V. Heavy metals in fractions of different dispersion of soils

природных и антропогенных ландшафтов (на примере Курского региона). Проблемы региональной экологии. 2021;4:35-42. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-35-42>

9. Варламов Е.Б., Лебедева М.П., Чурилин Н.А. и др. Особенности профильного распределения минералов во фракциях разной размерности в солонце светлом корковом сухостепной зоны юга России. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018;93:144-168. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-144-168>

10. Заварзина А.Г., Кравченко Е.Г., Константинов А.И. и др. Сравнение свойств препаратов гуминовых кислот, выделенных из почв щелочной экстракцией в присутствии и отсутствии кислорода. Почвоведение. 2019;8:910-922. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080161>

11. Крылов В.А., Мамонтов В.Г., Лазарев В.И. и др. Влияние различного землепользования на элементный состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области. Почвоведение. 2022;8:981-989 <https://doi.org/10.31857/S0032180X22040116>

12. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: МГУ, 1981.

13. Овчинникова М.Ф. Изменение содержания, состава и свойств гумусовых веществ в гранулометрических фракциях дерново-подзолистых почв при длительном осушении. Почвоведение. 2018;6:693-703. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18060059>

14. Мамонтов В.Г. Влияние особенностей сельскохозяйственного использования на элементный состав фракций гуминовых кислот чернозема обыкновенного. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;5:78-82. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-78-82>

15. Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., и др. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020(101):182-201. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201>

16. Артемьева З.С., Данченко Н.Н., Зазовская Э.П. и др. Изотопный состав углерода и химическая структура органического вещества типичного чернозема в условиях контрастного землепользования. Почвоведение. 2021;6:686-700. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21060034>

17. Латышева Л.А. Органическое вещество гранулометрических фракций и его роль в формировании морфогенетического своеобразия буроземов острова Русский. Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: естественные науки. 2022;4(2):28-37. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-4-2-28-37>

18. Rice J.A., MacCarthy P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. Org. Geochem. 1991;17(5):635-648. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(91\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0146-6380(91)90006-6)

in natural and anthropogenic landscapes (using the example of the Kursk region). Problemy regional'noy ekologii. 2021;4:35-42. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-35-42> (In Rus.)

9. Varlamov E.B., Lebedeva M.P., Churilin N.A. et al. Features of the profile distribution of minerals in fractions of different sizes in the light crustal solonetz of the dry steppe zone of southern Russia. Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva. 2018;93:144-168. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-144-168> (In Rus.)

10. Zavarzina A.G., Kravchenko E.G., Konstantinov A.I. et al. Comparison of the properties of humic acid preparations isolated from soils by alkaline extraction in the presence and absence of oxygen. Eurasian Soil Science. 2019;8:910-922. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080161> (In Rus.)

11. Krylov V.A., Mamontov V.G., Lazarev V.I. et al. Effect of different land uses on the elemental composition of labile humic substances in typical chernozem of the Kursk region. Eurasian Soil Science. 2022;8:981-989 <https://doi.org/10.31857/S0032180X22080081> (In Rus.)

12. Orlov D.S., Grishina L.A. Practical course of the chemistry of humus. M.: MSU, 1981. (In Rus.)

13. Ovchinnikova M.F. Changes in the content, composition and properties of humic substances in the granulometric fractions of soddy-podzolic soils during long-term drainage. Eurasian Soil Science. 2018;6:693-703. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18060059> (In Rus.)

14. Mamontov V.G. Effect of the characteristics of agricultural use on the elemental composition of humic acid fractions in typical chernozem. International Agricultural Journal. 2021;64.5(383):78-82. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-78-82> (In Rus.)

15. Mamontov V.G., Artemyeva Z.S., Lazarev V.I., et al. Comparative characteristics of the properties of virgin, arable and fallow chernozem typical of the Kursk region. Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchayeva. 2020 (101):182-201. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201> (In Rus.)

16. Artem'eva Z.S., Danchenko N.N., Zazovskaya E.P. et al. Carbon isotope composition and chemical structure of organic matter of typical chernozem under contrasting land use conditions. Eurasian Soil Science. 2021;6:686-700. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21060034> (In Rus.)

17. Latysheva L.A. Organic matter of granulometric fractions and its role in the formation of the morphogenetic uniqueness of brown soils on Russkiy Island. Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences. 2022;4(2):28-37. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-4-2-28-37> (In Rus.)

18. Rice J.A., MacCarthy P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. Org. Geochem. 1991;17(5):635-648. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(91\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0146-6380(91)90006-6)

Сведения об авторах

Владимир Григорьевич Мамонтов, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mamontov1954@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2563-8783>

Светлана Алексеевна Беляева, аспирант кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: belyaevasa@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1347-0741>

Алексей Михайлович Поляков, инженер кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: amp7616i@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0006-3738-7693>

Статья поступила в редакцию 16.10.2023
Одобрена после рецензирования 30.11.2023
Принята к публикации 30.11.2023

Information about the authors

Vladimir G. Mamontov, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: mamontov1954@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2563-8783>.

Svetlana A. Belyaeva, post-graduate student of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: belyaevasa@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1347-0741>.

Aleksey M. Polyakov, engineer of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: amp7616i@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0006-3738-7693>.

The article was submitted to the editorial office 16 Oct 2023
Approved after reviewing 30 Nov 2023
Accepted for publication 30 Nov 2023

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 30.11.2023 г. Формат 60 84/8 6,6 печ. л.
Гарнитура шрифта «Times New Roman»
