

**ВЕСТНИК
ТОМСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

БИОЛОГИЯ

Tomsk State University Journal of Biology

Научный журнал

2018

№ 41

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере
массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия
(свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-29499 от 27 сентября 2007 г.)

Подписной индекс в объединённом каталоге «Пресса России» 44024

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, входящих
в международные реферативные базы данных и системы цитирования, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»
Высшей аттестационной комиссии

Учредитель – Томский государственный университет

Научный журнал «Вестник Томского государственного университета. Биология» публикует результаты завершённых оригинальных исследований (теоретические и экспериментальные статьи) в различных областях современной биологии, ранее нигде не публиковавшиеся и не представленные к публикации в другом издании; публикуются описания принципиально новых методов исследования, обзорные статьи по отдельным проблемам. Основные требования к представляемым рукописям: новизна и обоснованность фактического материала, ясность, сжатость изложения, воспроизводимость экспериментальных данных. Решение о публикации принимается редколлегией после рецензирования, учитывая соответствие материала тематике журнала, актуальность проблемы, научную и практическую новизну и значимость, профессионализм выполнения работы. Принимаются статьи на русском и английском языках. Средний срок публикации 3–6 месяцев. Журнал выходит ежеквартально. Публикации осуществляются на некоммерческой основе. Все опубликованные материалы находятся в свободном доступе.

Внесён в Ulrich's Periodicals Directory. Индексируется: eLIBRARY.RU; CYBERLENINKA; Google Scholar; Open Academic Journal Index; Zoological Record Online (Web of Science).

Адрес издателя и редакции: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Биологический институт; сайт: <http://journals.tsu.ru/biology/>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кулижский С.П. – гл. редактор (Томский государственный университет, Томск, Россия)

E-mail: kulizhskiy@yandex.ru

Покровский О.С. – зам. гл. редактора (Национальный центр научных исследований, Тулуза, Франция)

Бобровский М.В. – отв. редактор (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия)

Зверев А.А. – отв. редактор (Томский государственный университет, Томск, Россия)

Кривова Н.А. – отв. редактор (Томский государственный университет, Томск, Россия)

Иванов Ю.В. – отв. редактор (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия)

Лойко С.В. – отв. редактор (Томский государственный университет, Томск, Россия)

Акимова Е.Е. – отв. секретарь (Томский государственный университет, Томск, Россия).

E-mail: biotsu@rambler.ru, biotsu@mail.ru

Волокитина А.В. (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск); **Воробьев Д.С.** (Томский государственный университет, Томск); **Дюкарев А.Г.** (Институт мониторинга и климатических систем РАН, Томск); **Кривец С.А.** (Институт мониторинга и климатических систем РАН, Томск); **Минеева Н.М.** (Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН, Борок); **Сазонов А.Э.** (Сибирский государственный медицинский университет, Томск); **Степанов В.А.** (НИИ медицинской генетики Томского НЦ СО РАМН, Томск); **Штерншис М.В.** (Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Ананьева Н.Б. (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия); **Афтанас Л.И.** (НИИ физиологии и экспериментальной медицины СО РАМН, Новосибирск, Россия); **Беляев А.А.** (Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия); **Васьильева Е.Д.** (Зоомузей МГУ, Москва, Россия); **Добротворская Н.И.** (СибНИИЗХИМРАСХН, Краснообск, Россия); **Дюбуа А.** (Национальный музей естественной истории, Париж, Франция); **Зеллер Б.** (Национальный институт агрономических исследований, Нанси, Франция); **Кингма Г.** (Маастрихтский университет, Маастрихт, Нидерланды); **Кузнецов В.В.** (Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия); **Дупашин В.В.** (Университет Арканзаса медицинских наук, Арканзас, США); **Смирнова О.В.** (Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия); **Соколова Ю.Я.** (Университет Луизианы, Батон Руж, Луизиана, США); **Хебда Р.** (Виктория, Британская Колумбия, Канада); **Чжанг Д.** (Синцзянский Институт экологии и географии КАН, Урумчи, Китай); **Шарахов И.В.** (Политехнический университет Вирджинии, Вирджиния, США)

Издательство: Издательский дом Томского государственного университета

Редактор К.Г. Шилько; корректор К.В. Полькина; редактор-переводчик М.Б. Кузьменко; оригинал-макет А.И. Ледоур; дизайн обложки Л.В. Кривцова

Подписано в печать 10.03.2018 г. Формат 70x108¹/₁₆. Усл. печ. л. 15,4. Тираж 50 экз. Заказ № 3101. Цена свободная.

Дата выхода в свет 30.03.2018 г.

Журнал отпечатан на полиграфическом оборудовании Издательского Дома Томского государственного университета. 634050, Ленина, 36, Томск, Россия. Тел. 8+(382-2)-52-98-49. Сайт: <http://publish.tsu.ru>. E-mail: rio.tsu@mail.ru

**About *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* =
Tomsk State University Journal of Biology**

Founder – Tomsk State University

The scientific journal “*Tomsk State University Journal of Biology*” publishes the results of the completed original research papers (theoretical and experimental manuscripts) in different fields of contemporary biology which have not been published previously in this or any other edition. It includes descriptions of conceptually novel methods of research, review articles on particular topics and overviews.

The editorial board of the “*Tomsk State University Journal of Biology*” commits to the internationally accepted principles of publication ethics expressed.

International standard serial edition number: EISSN 2311-2077, ISSN 1998-8591

Language: Russian, English

Publications are on non-commercial basis (FREE)

Open access

Publication timeframe: 3-6 months

All manuscripts are to be reviewed: double blind peer review (2-10-weeks)

Abstracting and Indexing: eLIBRARY.RU; CYBERLENINKA; Google Scholar; Open Academic Journal Index; Zoological Record Online (Thomson Reuters); Ulrich's Periodicals Directory

Contact the Journal

Tomsk State University, Institute of Biology, 36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation

<http://journals.tsu.ru/biology/en/>

Editor-in-Chief - Sergey P Kulizhskiy, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Tomsk State University (Tomsk, Russia) kulizhskiy@yandex.ru

Co Editor-in-Chief - Oleg S Pokrovsky, National Centre for Scientific Research (Toulouse, France)

EDITORIAL COUNCIL

Akimova EE - Associate Editor, Tomsk State University, Tomsk, Russia

biojournaltsu@gmail.com, biotsu@mail.ru

Bobrovsky MV - Editor, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, RAS, Pyschino, Russia

Zverev AA - Editor, Tomsk State University, Tomsk, Russia

Ivanov YuV - Editor, Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS, Moscow, Russia

Krivova NA - Editor, Tomsk State University, Tomsk, Russia

Loyko SV - Editor, Tomsk State University, Tomsk, Russia

Volokitina AV (Sukachev Institute of Forest, SB RAS, Krasnoyarsk, Russia); **Vorobiev DS** (Tomsk State University, Tomsk, Russia), **Dukarev AG** (Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia), **Krivets SA** (Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia),

Mineeva NM (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Russia); **Sazonov AE** (Siberian State Medical University, Tomsk, Russia), **Stepanov VA** (The Research Institute of Medical Genetics, SB RAMS, Tomsk, Russia), **Shternshis MV** (Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia)

Mineeva NM (Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Russia); **Sazonov AE** (Siberian State Medical University, Tomsk, Russia), **Stepanov VA** (The Research Institute of Medical Genetics, SB RAMS, Tomsk, Russia), **Shternshis MV** (Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia)

EDITORIAL BOARD [In Russian Alphabetical order]

Ananjeva NB Zoological Institute, RAS (St. Petersburg, Russia); **Aftanas LI** State Research Institute of Physiology, SB RAMS (Novosibirsk, Russia); **Belyaev AA** Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia); **Vasil'eva ED** Zoological Museum, Moscow State University (Moscow, Russia); **Dobrotvorskaya NI** Siberian Research Institute of Agriculture and Chemization (Krasnoobsk, Russia); **Dubois A** National Museum of Natural History in Paris (Paris, France); **Zeller B** The French National Institute for Agricultural Research (Nancy, France); **Kingma H** Maastricht University (Maastricht area, Netherlands); **Kuznetsov VIV** Timiryazev Institute of Plant Physiology, RAS (Moscow, Russia); **Lupashin VV** University of Arkansas for Medical Sciences (Arkansas, USA); **Smirnova OV** Center of Ecology and Productivity of Forests, RAS (Moscow, Russia); **Sokolova Yuliya Y** Louisiana State University (Baton Rouge, Louisiana, USA); **Hebda RJ** Royal British Columbia Museum (Victoria, BC, Canada); **Zhang D** Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS (Urumqi, China); **Sharakhov IV** Virginia Polytechnic Institute and State University (Blacksburg, Virginia, USA)

PUBLISHER:

Tomsk State University Publishing House (Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation)

Editor **KG Shilko**; proofreader **KV Polkina**; editor-translator **MB Kuzmenko**; camera-ready copy **AI Leloyur**; cover design **LV Krivtsova**.

Passed for printing 10.03.2018. Format 70x108^{1/16}. Conventional printed sheets 15.4. Circulation is 50 copies. Orders N 3101.

Free price. Date of publication 30.03.2018.

36 Lenin Ave, Tomsk 634050, Russian Federation. Tel. +7 (382-2)-52-98-49. <http://publish.tsu.ru>. E-mail: rio.tsu@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

- Булышева А.М., Хохлова О.С., Русаков А.В., Мякшина Т.Н.** Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны Среднерусской возвышенности (заповедный участок «Лес-на-Ворскле») 6
- Дубровина И.А.** Изменение содержания общего углерода, азота и фосфора в почвах таежной зоны при сельскохозяйственном использовании 27

БОТАНИКА

- Боровик Т.С., Ревушкин А.С.** Особенности онтогенеза и возрастной структуры популяции *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev в Горном Алтае 42
- Дорогина О.В., Жмудь Е.В., Елисафенко Т.В., Ачимова А.А., Кубан И.Н., Ямтыров М.Б.** Состояние ценопопуляций редкого вида *Brachanthemum krylovii* Serg. (Asteraceae) в Республике Алтай 53
- Отмахов Ю.С., Черникова Т.С., Третьяков Б.А.** Антропогенная трансформация растительных сообществ сосновых лесов в городской среде 75

ЗООЛОГИЯ

- Макаров А.В., Беликова Е.А., Бочкарёва Е.Н.** Пространственно-типологическая структура и организация населения птиц Предалтайской равнины во второй половине лета 96

ЭКОЛОГИЯ

- Дрозденко Т.В., Михалап С.Г.** Структурно-таксономическое разнообразие и экологические особенности фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область) 118
- Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В., Аврова А.Ф.** Высотная дифференциация кислотно-основных свойств долинных торфяных почв Кузнецкого Алатау 135
- Яблоков Н.О.** Морфологические аномалии скелета у молоди рыб р. Качи (бассейн Среднего Енисея) в градиенте техногенной нагрузки 156

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Ларионов А.Г., Варгапетов Л.Г., Егоров Н.Н.** Новые данные по распространению краснозобого дрозда (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) на северо-восточном пределе ареала 174
- Shchegoleva N.V.** New distribution data on Altai endemic *Ranunculus schischkini* in floras of Russia and Kazakhstan 182

TABLE OF CONTENTS

AGROCHEMISTRY & SOIL SCIENCE

- Bulysheva AM, Khokhlova OS, Rusakov AV, Myakshina TN.** The change in carbonate state of arable and abandoned soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Nature Reserve "Les-na-Vorskla")6
- Dubrovina IA.** Change in the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in the boreal soils of the Republic of Karelia when used in agriculture27

BOTANY

- Borovik TS, Revushkin AS.** Ontogenesis and age structure characteristics of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev populations in the Altai Mountains42
- Dorogina OV, Zhmud EV, Elisafenko TV, Kuban IN, Achimova AA, Yamtyrov MB.** The state of cenopopulations of a rare species *Brachanthemum krylovii* Serg. (Asteraceae) in the Altai Republic53
- Otmakhov YuS, Chernikova TS, Tretyakov BA.** Anthropogenic transformation of vegetation in urban pine forests75

ZOOLOGY

- Makarov AV, Belikova EA, Bochkareva EN.** Spatial-typological structure and organization of the bird population of the Prealtai plain in the second half of the summer96

ECOLOGY

- Drozdenko TV, Mikhlap SG.** Structural and taxonomic diversity and ecological features of phytoplankton in the Velikaya River delta (Pskov Oblast)118
- Efremova TT, Efremov SP, Melent'eva NV, Avrova AF.** Altitudinal differentiation of the acid-base properties of the river valley peat soils of Kuznetsk Alatau135
- Yablokov NO.** Morphological abnormalities in the skeleton of juvenile fish from the Kacha river (Middle Yenisei system) in the gradient of anthropogenic impact156

SHORT BRIEF

- Larionov AG, Vartapetov LG, Egorov NN.** New data on the distribution of the Red-throated thrush (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) in the northeastern border of its range174
- Shchegoleva NV.** New distribution data on Altai endemic *Ranunculus schischkinii* in floras of Russia and Kazakhstan182

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.4

doi: 10.17223/19988591/41/1

А.М. Булышева¹, О.С. Хохлова², А.В. Русаков¹, Т.Н. Мякшина²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино

Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны Среднерусской возвышенности (заповедный участок «Лес-на-Ворскле»)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00669а.

Изучены свойства почв пашни и залежей в сравнении с целинными серыми почвами с акцентом на изменение их карбонатного состояния на примере заповедника «Белогорье», расположенного в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины. Проанализированы морфологические характеристики, физические и химические свойства почв, проведено радиоуглеродное датирование карбонатов на верхней границе их обнаружения. Показано, что пахотная почва отличается от целинной наличием уплотнения, появлением специфической слоистой микроструктуры, обогащением илистой фракцией пахотного горизонта, изменением кутанного комплекса, смещением следов деятельности почвенной фауны вниз по профилю, меньшей глубиной залегания карбонатов и их существенно более древним ¹⁴C-возрастом. После 40 лет нахождения почв в состоянии залежи происходит разуплотнение пахотных горизонтов, постепенное накопление органического углерода в верхней части профиля, выщелачивание педогенных карбонатов по сравнению с пашней. И хотя пока отмечено превышение запасов карбонатов в залежных почвах по сравнению с целинной, выравнивание ¹⁴C-возраста карбонатов в сравниваемых почвах, очевидно, указывает на начавшиеся процессы перекристаллизации карбонатов и их выщелачивание в залежном ряду. Основную роль в изменении свойств почв в состоянии залежи играет характер растительности, влияющий на перераспределение влаги, накопление органического и карбонатного углерода, на плотность и процессы преобразования структуры бывших пахотных горизонтов.

Ключевые слова: серые; темно-серые почвы; агросерые и агротемно-серые почвы; радиоуглеродное датирование педогенных карбонатов; Phaseosets.

Введение

При сельскохозяйственном использовании почв меняются режимы их функционирования, что вызывает трансформацию их состава и свойств.

Наиболее важными агрогенными процессами при этом воздействии в почвах южной части лесостепной полосы Среднерусской возвышенности (темно-серые почвы и черноземы) являются дегумификация, уплотнение, подкисление (декальцификация), карбонатизация, ошелачивание, иногда лессиваж [1]. Из этого следует, что изменениям подвергается в том числе и педогенный углерод, находящийся в составе как гумуса, так и карбонатов. Изменение гумусного состояния почв, содержания органического углерода и его запасов при сельскохозяйственном освоении, забрасывании пахотных земель и смене землепользования достаточно хорошо и полно изучены [2–8]. Трансформация карбонатного состояния почв лесостепной зоны при агрогенном воздействии разной длительности рассмотрена в ряде наших работ [9–12]. Никакого специального исследования, планомерно характеризующего изменение карбонатов на разных уровнях организации в почвах разновозрастных залежей, до сих пор предпринято не было. Лишь в некоторых работах, посвященных постагрогенной трансформации почв, описаны формы карбонатов и иногда определено процентное содержание CaCO_3 в почвах залежных хронорядов [13, 14].

Цель данного исследования – охарактеризовать изменения свойств почв пашни и залежей в сравнении с целинными лесными почвами южной части лесостепной зоны на примере заповедного участка «Лес-на-Ворскле», уделяя особое внимание их карбонатному состоянию. Под карбонатным состоянием понимается совокупность всех форм карбонатного вещества на разных уровнях его организации в почве, его содержание, строение и состав [15].

Материалы и методики исследования

Объекты исследования располагаются в пределах участка «Лес-на-Ворскле» заповедника «Белогорье» в Белгородской области. Здесь сохранилась широколиственная лесная растительность зонального типа, слабо преобразованная деятельностью человека. Территория заповедника располагается на юго-западном склоне Среднерусской возвышенности с максимальными абсолютными отметками 200–250 м, рельеф территории увалисто-долинно-балочный [16]. На территории заповедника широко распространены карбонатные и бескарбонатные лессовидные суглинки и лессы, встречаются также олигоценовые супеси и суглинки, красно-бурые глины и древнеаллювиальные песчаные отложения.

В ходе работы изучены два ключевых участка (КУ) с известными сроками окончания сельскохозяйственной обработки. Оба участка характеризуются сходством геоморфолого-литологических условий, так как они расположены на выровненной водораздельной поверхности, почвообразующими породами являются карбонатные лессовидные суглинки.

Первый КУ расположен в 9-м квартале участка «Лес-на-Ворскле» заповедника «Белогорье» на пологом склоне северо-западной экспозиции.

Целинная темно-серая почва (разрез LnV5-13 (N 50,60916°; E 35,96770°)) сформирована под липо-кленовником мертвопокровным в 20 м от границы Чувпилинской пашни. Напочвенный покров изрежен вследствие пороев кабанов. Агротемно-серые постагрогенные почвы вскрыты на 40-летней залежи под двумя разными растительными сообществами. Первое – кленово-ясеневое мелколесье разнотравно-райграсовое, сформировалось в результате зарастания пашни лесом без стадии сенокосения. Здесь заложен разрез LnV6-13 (N 50,60915°; E 35,96696°). Второе – райграсовый луг, сформированный благодаря сенокосению в течение 20 лет, на заброшенной пашне. Здесь заложен разрез LnV8-13 (N 50,60946; E 35,96612°).

Второй КУ расположен в 4-м квартале участка «Лес-на-Ворскле» на выровненной поверхности третьей надпойменной террасы реки Ворскла. Целинная серая почва (разрез LnV9-13 (N 50,63222°; E 35,97978°)) находится на очень пологом склоне северной экспозиции под дубо-ясенником снытьевым, где напочвенный травянистый покров присутствует фрагментарно вследствие сильного повреждения кабанями. Разрез агросерой почвы (LnV10-13 (N 50,63273°; E 35,98198°)) располагается в 20–30 м к востоку от края леса. Сельскохозяйственная обработка почвы в границах изученного участка, согласно архивным картам [17], а также сведениям, содержащимся в работе [18] о распашке земель в Курской губернии, началась около 100–140 лет назад. Согласно данным, представленным в «Мировой коррелятивной базе почвенных ресурсов» [19], изученные почвы относятся к группе Phaeozems.

При полевых работах проведено подробное морфологическое описание профилей исследованных почв, определено их классификационное положение согласно «Классификации и диагностике почв России» [20]. Схематическое строение профилей почв представлено на рис. 1. В поле измерена плотность сложения почвы методом режущего кольца [21] в трехкратной повторности. В лаборатории определены гранулометрический состав профилей методом пипетки с диспергацией пирофосфатом натрия [21], содержание углерода органического ($C_{\text{орг}}$) – методом мокрого сжигания по Тюрину [22] и углерода карбонатного ($C_{\text{карб}}$) – манометрически [23]; проведен расчет запасов этих веществ. Из микромонологитов основных почвенных горизонтов изготовлены шлифы и проведен их микроморфологический анализ на микроскопе AxioScope A1 CarlZeiss в ЦКП ИФХиБПП РАН (г. Пушкино. Россия). Микроморфологически изучены все упомянутые выше разрезы за исключением LnV6-13 (залежь под мелколесьем). Радиоуглеродное датирование карбонатов с верхней глубины их обнаружения в изученных профилях проведено в радиоуглеродной лаборатории (факультет географии, РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург) (лабораторный индекс – SPb).

Результаты исследования и обсуждение

При сельскохозяйственном использовании почв меняется целый ряд их свойств. Чтобы изучить изменения свойств почв пашни и залежи проведены комплексные исследования. В первую очередь, изучены особенности морфологического строения на макро- и микроуровне.

Морфологический анализ профилей в 9-м квартале показал, что на поверхности целинной почвы под лесом (разрез LnV5-13) сформирована изреженная подстилка, состоящая из листового опада и стебельков трав. Мощность гумусированной толщи составляет 28 (29) см. В гумусовом горизонте целинной почвы прослеживаются признаки оподзоливания в виде рассеянных в массе горизонта отмытых зерен песчано-пылевой фракции. Структура гумусового горизонта комковато-зернистая. Для субэлювиального горизонта характерны темно-серый цвет, гумусово-глинистые кутаны и сiltаны по граням структурных отдельностей. Субэлювиальный горизонт BEL – самый темный в профиле, структура горизонта ореховато-призматическая. Текстурные горизонты ВТ характеризуются наличием кутанного комплекса. Гумусово-глинистые кутаны контрастно отличаются по цвету от внутриведной массы. Поверх мощных кутан сформированы сiltаны с наибольшей выраженностью по стенкам крупных трещин. Вскипание от 10% раствора соляной кислоты наблюдалось только на глубине 109 (110) см в горизонте ВСса1, который содержит карбонатный псевдомицелий и карбонатные трубочки – аккумуляции, характерные для лессовых пород. Почва классифицирована как темно-серая средне-мелкая глубококарбонатная среднесуглинистая на карбонатных лессовидных суглинках.

На поверхности агро темно-серой постагрогенной среднепахотной глубококарбонатной легкосуглинистой почвы под кленово-ясеневым мелколесьем (разрез LnV6-13) образовалась дернина из густо переплетенных корней райграса. Мощность постагрогенного пахотного горизонта равна 27 см и приблизительно совпадает с мощностью темного гумусового горизонта темно-серой целинной почвы. Как и в целинной почве, в бывших пахотных горизонтах данной почвы прослеживаются отмытые зерна кварца, рассеянные в толще горизонта. Структура пахотного горизонта комковато-зернистая. Сохраняются следы бывшей распашки в виде плужной подошвы (переуплотнение на нижней границе пахотного горизонта). В текстурном горизонте развит кутанно-сiltанный комплекс, как и в целинной почве. Нижняя граница текстурного горизонта опускается до глубины 119 (126) см. По сравнению с двумя другими почвами данного КУ в этом разрезе его мощность наибольшая. Вскипание от HCl наблюдается на глубине 119 (126) см, карбонатные аккумуляции также представлены псевдомицелием и трубочками.

На поверхности залежной почвы под райграсовым лугом (разрез LnV8-13), которая была классифицирована так же, как и предыдущая залежная почва, сформировалась дернина из переплетенных корней райграса. Мощность бывшего пахотного горизонта составляет всего лишь 18 см, что меньше, чем мощности гумусового и пахотного горизонтов двух других разрезов КУ.

Структура бывшего пахотного горизонта комковатая и комковато-ореховатая. В горизонте BCt1 фиксируется слабое вскипание от HCl, но карбонатных новообразований нет. Тектурная толща имеет меньшую мощность, чем в предыдущих двух разрезах, нижняя граница – 102 см, т.е. нижняя граница гор. BT в профиле залежной почвы под лугом расположена выше на 10–20 см, чем в профилях двух других почв. Видимые карбонатные аккумуляции находятся в горизонте BCca2 в виде псевдомицелия и трубочек.

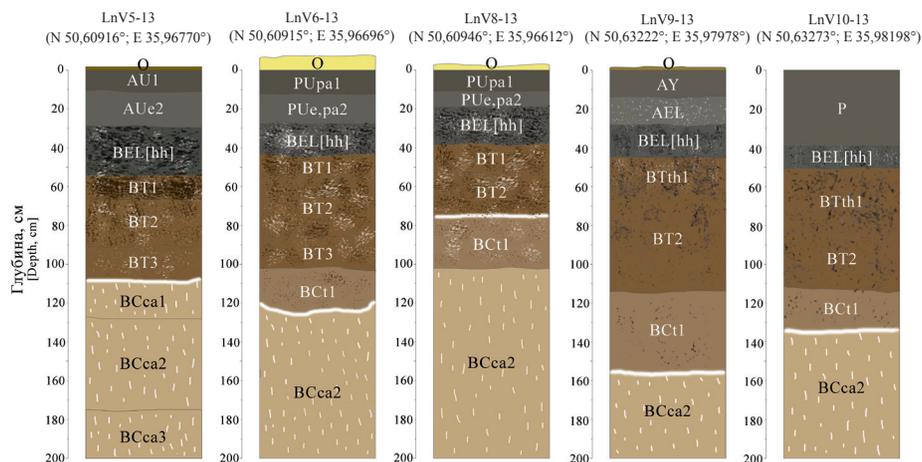


Рис. 1. Схематическое изображение изученных профилей почв участка «Лес-на-Ворскле»
[Fig. 1. Schematic picture of the studied soil profiles at the “Les-na-Vorskla” site]

Таким образом, сходство в морфологическом строении почв изучаемого ряда 9-го квартала выявляется в сложно организованном кутанном комплексе, формах карбонатных аккумуляций, обнаруживаемых лишь в горизонтах BCca. Тогда как главные их различия – это граница вскипания от HCl и мощность текстурных горизонтов. Наименьшая глубина вскипания обнаружена в залежной почве под райграсовым лугом (разрез LnV8-13), а наиболее глубокая – в залежной почве под мелколесьем (разрез LnV6-13). Мощность текстурной толщи, напротив, больше всего в разрезе LnV6-13, а наименьшая – в разрезе LnV8-13. Можно предположить, что замеченные отличия зависят от характера перераспределения влаги, на которую главным образом влияет растительность, способствующая проявлению процессов выщелачивания и лессиважа.

Подстилка на целинной серой со вторым гумусовым горизонтом средне-мелкой среднесуглинистой глубококарбонатной почве (разрез LnV9-13) 4-го квартала покрывает 80% поверхности. Мощность гумусового горизонта составляет 14 см, мощность гумусированной толщи (AY+AEL) – 28 см. Для субэлювиального горизонта характерны выраженные темные гумусовые кутаны по граням структурных отдельных, иногда перекрытые тонкими силтанами. В текстурных горизонтах хорошо выражены темно-серые, почти черные гу-

мусово-глинистые кутаны, перекрытые белесоватыми силтанами. С глубиной развитость кутанного комплекса уменьшается и кутаны встречаются по вертикальным граням структурных отдельностей и крупным трещинам. Окраска кутан меняется от темно-серых до бурых и светло-бурых, что связано с уменьшением доли темных гумусовых веществ в составе кутан. Силтаны практически отсутствуют в горизонте ВТ2 и ВСt1. В горизонте ВСса2 присутствуют тонкие бурые глинистые кутаны по отдельным трещинам. Карбонатные аккумуляции обнаружены в виде псевдомицелия и трубочек, вскипание от HCl отмечено на глубине 155 см.

Мощность пахотного горизонта в агросерой со вторым гумусовым горизонтом маломощной тяжелосуглинистой глубококарбонатной почве на пашне (разрез LnV10-13) больше на 11 см по сравнению с мощностью гумусированной толщи (AY+AEL) почвы под лесом. Увеличение мощности пахотного горизонта произошло за счет припашки нижележащего горизонта. Кутанный комплекс пахотной почвы аналогичен таковому в текстурной толще целинной почвы, но простирается на меньшую глубину. В отличие от целинной почвы здесь наблюдаются ходы землероев (слепышины). Так, на глубине 110–115 см описана прямая округлая слепышина, выполненная темно-бурым прогумусированным материалом, на поверхности которого видны белесоватые силтаны. Вскипание от HCl отмечается на глубине 134 см, что выше, чем в целинной почве, почти на 20 см. Карбонатные новообразования присутствуют в виде псевдомицелия и трубочек, а также карбонатных кутан. При высыхании разреза фронтальные трещины прослеживаются с подпахотного горизонта вглубь разреза (до глубины 200 см).

Таким образом, изученные целинная и пахотная почвы 4-го квартала различаются по мощности гумусированной толщи и глубине вскипания, выраженности трещинной сети, наличию карбонатных кутан в горизонте ВСса и слепышин. Общими чертами являются обильные гумусово-глинистые кутаны в субэлювиальном горизонте и верхнем текстурном горизонте ВТ, слабая развитость силтанного комплекса.

Микроморфологическое исследование горизонта AUe2 разреза LnV5-13 почвы под коренным лесом в 9-м квартале показало хорошую агрегированность почвенного материала, четко выраженные следы деятельности мезофауны: измельчение почвенной массы, ходы землероев; зерна минерального скелета в основном погружены в тонкодисперсный материал, лишь очень редкие минеральные зерна «выдавлены» в поровое пространство и ничем не покрыты (рис. 2, а). В горизонте BEL[hh], 40–45 см, обнаружены единичные хорошо выраженные скорлуповато-слоистые Fe-гумусо-глинистые кутаны в порах (см. рис. 2, б), имеющие слабую анизотропность. Большей частью здесь в порах наблюдаются обрывки кутан или очень мелкие кутаны (левая часть рис. 2, б). В горизонте ВСса1, 110–115 см, отмечены довольно консолидированные вокругпоровые карбонатные стяжения, интенсивная пропитка тонкодисперсного вещества карбонатами (см. рис. 2, с), выделяются также микроучастки гли-

нисто-карбонатной плазмы с пятнами ожелезнения поверху (правый нижний угол рис. 2, *c*), свидетельствующие о периодически возникающем застое влаги в этом горизонте.

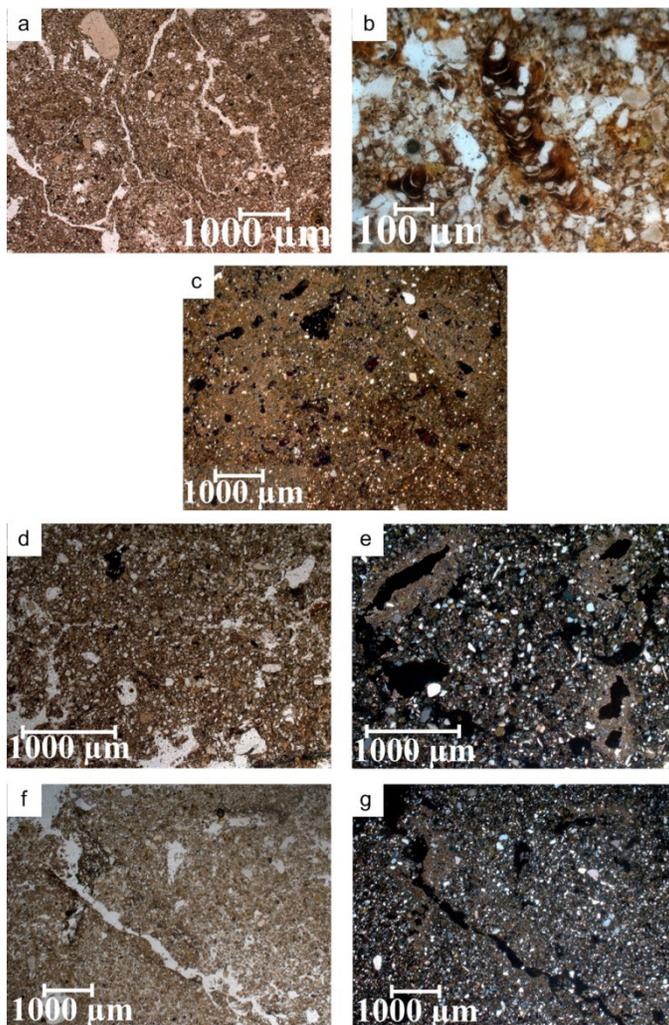


Рис. 2. Микроморфологическое строение горизонтов почв 9-го квартала участка «Лес-на-Ворскле». Фрагменты *a, b, d, f* сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Пояснения к рисунку даны в тексте. Автор фото – О.С. Хохлова [Fig. 2. Micromorphological structure of soil horizons of the 9th quarter of the “Les-na-Vorskla” site. Photos *a, b, d, f* are taken under Plane-polarized light (PPL), other photos are in Cross-polarized light (XPL). Explanations to the picture are given in the text. Photo is made by OS Khokhlova]

В залежной почве под злаковым лугом (разр. LnV8-13) на глубине 25–30 см

в отличие от лесной почвы гораздо более заметны в поровом пространстве пылеватые зерна, лишенные покровов, и пятна ожелезнения поверх гумусоглинистого тонкодисперсного материала; более выражены и признаки деятельности мезофауны (см. рис. 2, *d*, в нижней части – выбросы мезофауны в сравнительно крупных порах). В горизонте ВСса2, 102–107 см, хорошо оформлены вокругпоровые стяжения, тогда как тонкодисперсный материал довольно слабо пропитан карбонатами, в нем ясно видны единичные удлиненные зерна литогенного кальцита (рис. 2, *e*). В этом горизонте еще очень заметны признаки деятельности мезофауны – протяженные ходы с выбросами червей и измельчение почвенной массы (см. рис. 2, *f*), при рассмотрении с анализатором видно, что эти ходы окарбонаты (рис. 2, *g*).

Микроморфологические наблюдения в почве под коренным лесом в 4-м квартале (разр. LnV9-13) показали отсутствие скелетан в двух горизонтах: гумусово-элювиальном AEL, 20–25 см, и субэлювиальном (втором) BEL[hh], 40–45 см, что согласуется с анализом макроморфологического строения изученной почвы. Эти горизонты имеют «нормальную» копрогенную структуру (рис. 3, *a*), в горизонте BEL[hh] видны мелкие железисто-глинистые кутаны в порах (см. рис. 3, *b*), имеющие ясно выраженную анизотропию. В нижней части разреза резко меняется вид горизонта BCt1, 140–145 см: минеральный скелет более мелкий, чем в вышележащей толще, отчетлива ооидная структура почвенной массы и вокругооидная ориентировка глинисто-железистого или железисто-глинистого тонкодисперсного вещества, карбонаты присутствуют в виде удлиненных зерен литогенного кальцита (см. рис. 3, *c*, *d*). Следует отметить, что эти микропризнаки весьма характерны для почв брянского мегаинтерстадиала (средневалдайское потепление позднего неоплейстоцена ~32–24 тыс. л.н.) [24]. Можно предположить, что нижняя часть профиля голоценовой серой лесной почвы сохраняет в почвенной памяти следы бывшего (средневалдайского) педогенеза. Верхняя 150-сантиметровая толща почвы сформирована на поздневалдайских субаэральных накоплениях. Таким образом, данная почва полигенетична.

В пахотном аналоге (разрез агросерой почвы со вторым гумусовым горизонтом) в агрогумусовом горизонте ясно видна слоистая структура почвенной массы с параллельной трещинной сетью – следствие ежегодного воздействия сельскохозяйственных орудий (см. рис. 3, *e*). Во втором гумусовом горизонте BEL[hh], 40–45 см, четко фиксируются скелетаны, минеральный скелет (в основном зерна кварца) без «покровов», очевидно, приурочен к поровому пространству, выбросы мелких землероев фиксируются в биогенных порах – камерах и каналах (рис. 3, *f*). В нижней части, на границе между BCt1 и ВСса2 горизонтами, 130–135 см, также четко выражена ооидная структура, но вокруг ооидов ориентировка глинисто-железистого тонкодисперсного материала не обнаруживается (см. рис. 3, *g*), пропитка почвенной массы карбонатами слабая. Еще отмечаются отдельные микроучастки, переработанные мезофауной.

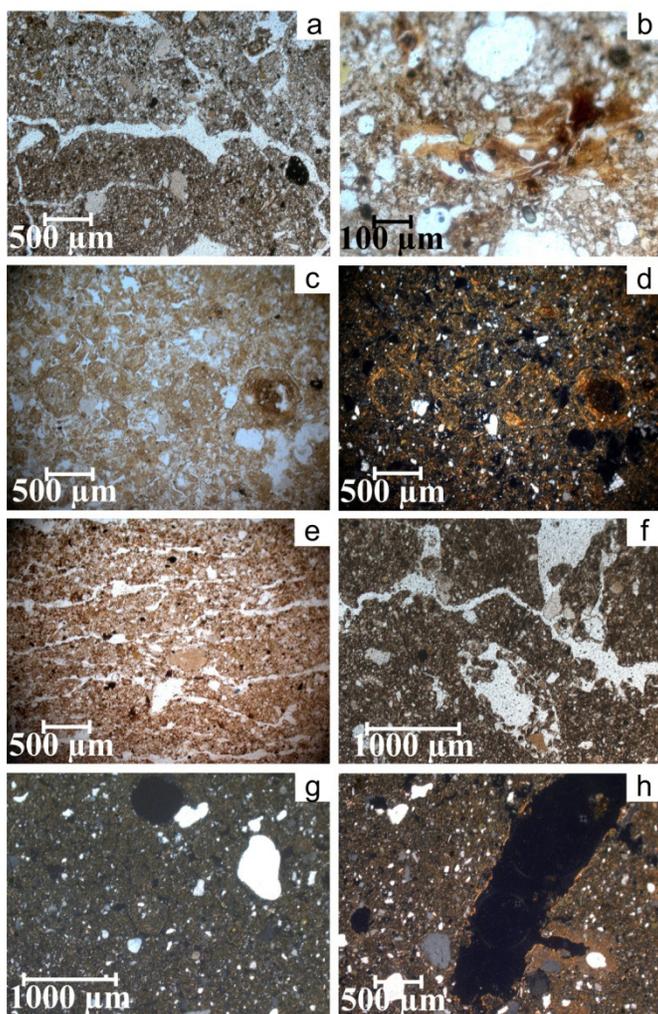


Рис. 3. Микроморфологическое строение горизонтов почв 4-го квартала участка «Лес-на-Ворскле». Фрагменты *a, b, c, e, f* сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Пояснения к рисунку даны в тексте. Автор фото – О.С. Хохлова

[Fig. 3. Micromorphological structure of soil horizons of the 4th quarter of the “Les-na-Vorskla” site. Photos *a, b, d, f* are taken under PPL, other photos are in XPL. Explanations to the picture are given in the text. Photo is made by OS Khokhlova]

В крупных порах располагаются вокругпоровые карбонатные стяжения с явными следами ожелезнения (см. рис. 3, *h*): в тех же порах, где обнаружены карбонаты, есть и глинисто-железистые тонкие пленки; либо сами карбонатные стяжения покрыты этими пленками, либо включают в свое «тело» фрагменты отчетливо ожелезненного карбонатного материала. Все эти особенности четко видны в отраженном свете. Таким образом, карбонатные стяжения в нижней

части разреза пахотной почвы сформированы при участии дополнительного увлажнения и/или сезонного застоя воды.

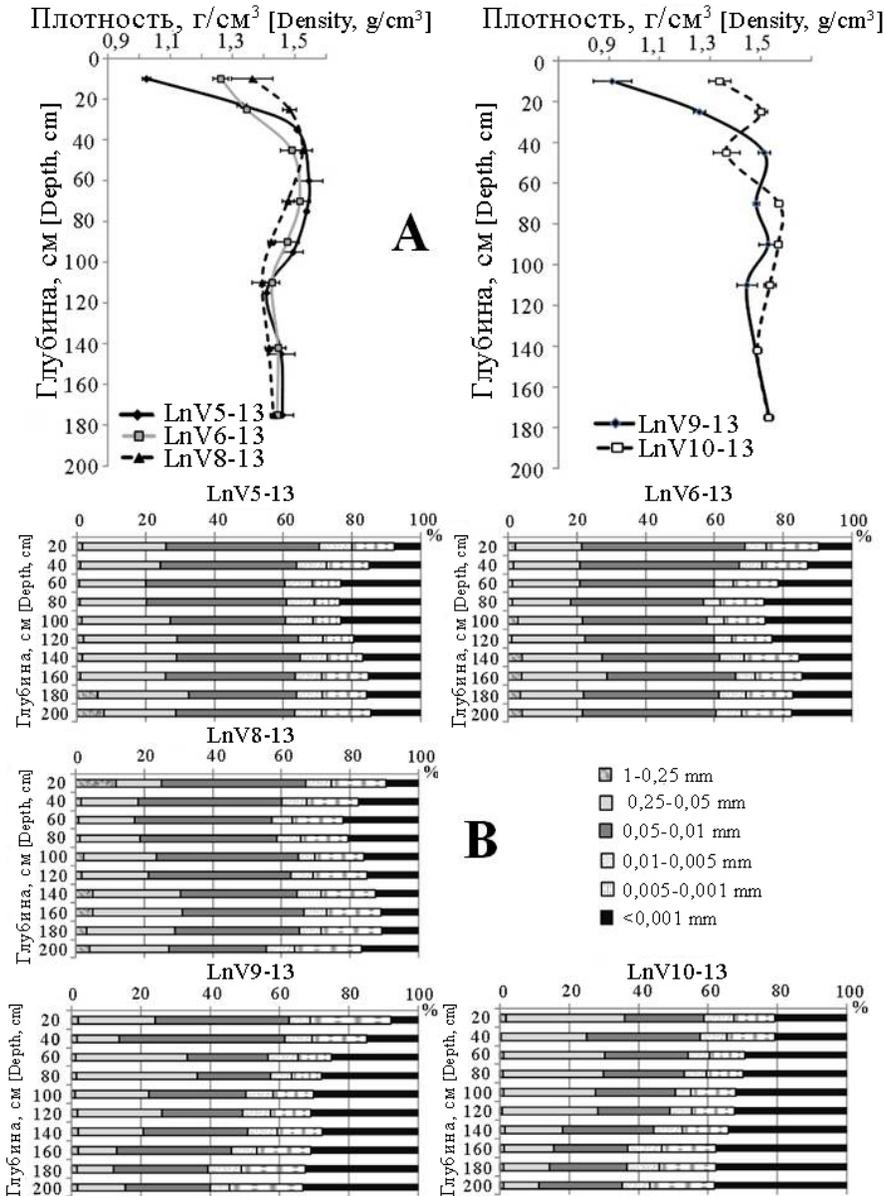


Рис. 4. Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ (А) и гранулометрический состав (В) исследованных почв [Fig. 4. Density, g/cm^3 (A) and grain size distribution (B) of the studied soils]

Плотность почв в изученных разрезах 9-го квартала характеризуется наименьшими величинами в гумусовых горизонтах, затем резко увеличивается и достигает максимума в элювиальной и особенно в верхней части текстурной толщи (1,51–1,54 г/см³ – в текстурных горизонтах ВТ1 и ВТ2), постепенно снижается от 80 до 120 см и показывает более-менее постоянные значения в толще 120–180 см (1,41–1,45 г/см³ в гор. ВСса), (рис. 4, А).

Значимые различия по плотности наблюдались лишь в верхней части профилей почв залежного ряда, что, несомненно, связано с имевшей место в прошлом сельскохозяйственной обработкой и разной историей зарастания залежных почв. Целинная темно-серая почва (разр. LnV5-13) характеризуется наименьшей плотностью в гумусовом горизонте АУ1 – 1,02 г/см³. В бывшем пахотном горизонте РUр1 разр. LnV6-13 возрастает до 1,26 г/см³, а в залежной темно-серой постагрогенной почве под райграсовым лугом (разр. LnV8-13) обнаруживается самая высокая величина плотности – 1,36 г/см³. Подпахотный горизонт почвы залежи под лугом сохранил повышенную плотность (1,5 г/см³), тогда как плотность подпахотного горизонта почвы залежи с возобновлением древесной растительности практически сравнялась с плотностью целинной почвы. Общий характер кривой распределения плотности в разр. LnV8-13 под лугом схож с кривыми распределения плотности в первых двух других разрезах 9-го квартала, но максимум плотности несколько смещен выше, а снижение плотности в текстурной толще начинается в горизонте ВТ2. Выявленные отличия в закономерности распределения плотностей в бывших пахотных горизонтах двух залежных почв 9-го квартала связаны, очевидно, с различиями в разрыхляющей деятельности корневой системы деревьев и травянистой растительности.

В целинной серой почве (разрез LnV9-13) 4-го квартала наименьшая плотность диагностирована в горизонте АУ (0,91 г/см³) (рис. 4, А). Далее ее величина резко возрастает вплоть до нижней границы горизонта ВЕL[hh] (45 см). Здесь значение плотности составляет 1,51 г/см³. В горизонтах ВТth1 и ВТ2 этот показатель изменяется слабо, лишь немного падает в нижней части горизонта ВТ2 (110 см), принимая значение 1,44 г/см³. Затем плотность начинает плавно увеличиваться, до 1,53 г/см³ – в горизонте ВСса2. Плотность пахотного горизонта агросерой почвы пашни (разрез LnV10-13) значительно выше плотности гумусового горизонта целинной почвы. На глубине 10 см она составляет 1,34 г/см³, на глубине 20 см – 1,50 г/см³ (против 0,91 и 1,25 г/см³ в аналогичных слоях целинной почвы). В горизонте ВЕL[hh] величина плотности падает до 1,36 г/см³, что ниже аналогичного показателя на данной глубине в целинной почве. В горизонте ВТth1 плотность вновь увеличивается до максимального значения в 1,57 г/см³ и сохраняется на таком же уровне в верхней части горизонта ВТ2. То есть верхний пахотный горизонт и текстурная толща пахотной почвы имеют более высокие значения плотности, чем целинная почва, а ниже величины достоверно не различаются в профилях двух сравниваемых почв.

Увеличение плотности сложения пахотного горизонта по сравнению с гумусовым горизонтом целинной почвы можно связать с механическим воздействием сельскохозяйственных орудий, приводящим к разрушению агрономически ценной структуры и уплотнению. При распашке изменения в плотности сложения выражены не только в пахотном горизонте, но и в средней части профиля. Картина распределения плотности значительно меняется: вместо резкого увеличения плотности при переходе от гумусовой толщи к текстурной наблюдали зигзагообразную кривую с высокими значениями в гумусовом горизонте, уменьшением в субэлювиальном и увеличением в текстурных горизонтах, что может быть обусловлено процессом агрогенного оглинивания глубоких слоев распашиваемых почв [10, 25]. Плотность горизонта ВСса остается неизменной.

По данным гранулометрического состава для исследованных почв заповедника характерно преобладание фракции крупной пыли, что связано с особенностями почвообразующей породы. Однако в изучаемых почвах 4-го квартала крупная пыль преобладала лишь в верхних 40 см. Глубже превалировала илистая фракция (см. рис. 4, В).

Почвы двух исследованных участков в 4-м и 9-м кварталах «Леса-на-Ворскле» различаются по гранулометрическому составу. Серая (разр. LnV9-13) и агросерая почвы (разр. LnV10-13), расположенные в 4-м квартале, являются среднесуглинистой и тяжелосуглинистой соответственно. Почвы 9-го квартала: легкосуглинистая (разр. LnV5-13) и среднесуглинистые (разр. LnV6-13, LnV8-13). Пахотная почва в разр. LnV10-13 по всему профилю демонстрировала самое большое содержание почвенного ила, что связано с вариабельностью гранулометрического состава материнской породы. В обоих рядах наблюдалась тенденция к утяжелению пахотного горизонта в почвах залежей и пашни по сравнению с целинными почвами. Это результат уже упоминавшегося процесса агрогенного оглинивания, протекавшего при распашке этих почв.

Для почв 9-го квартала характерно элювиально-иллювиальное распределение ила по профилю. Накопление ила наблюдается в текстурном горизонте. В разрезах LnV5-13 и LnV6-13 максимальное содержание ила диагностировано на глубине от 60 до 100 (120) см. В разрезе LnV8-13 иллювиальный максимум в распределении ила смещен выше – на глубину 40–80 см, текстурный горизонт здесь укорочен по сравнению с разрезами под лесной растительностью. Характер распределения ила по профилям почв под древесной растительностью, как целинной, так и залежной, практически аналогичен, что может свидетельствовать об особенностях водного режима лесных участков. Здесь наиболее выражены нисходящие токи влаги и наименее – восходящие.

Элювиально-иллювиальный характер перераспределения ила в почвах 4-го квартала выражен хуже за счет его более высокого содержания в почвообразующей породе. Тем не менее при переходе от гумусовой толщи к

текстурным горизонтам наблюдается резкое увеличение фракции ила. Довольно равномерное и повышенное содержание ила в текстурной толще и ниже – в переходном к породе горизонте (ВСса) – здесь может быть связано с тем, что в качестве почвообразующих пород для почв на этом участке выступают горизонты позднеплейстоценовой брянской почвы, обогащенной тонкодисперсной фракцией [16].

Содержание органического углерода в почвах 9-го квартала максимально в верхней гумусированной толще и уменьшается с глубиной (рис. 5, а). Содержание $C_{\text{орг}}$ выше в целинной почве, и ниже примерно на 1% – в обеих залежных почвах. При этом в залежной почве под лесом (разр. LnV6-13) оно несколько выше, чем в почве под лугом (разр. LnV8-13). Вероятно, это обусловлено тем, что данная почва после забрасывания пашни не косилась, следовательно, остатки травянистой растительности поступали на поверхность почвы и подвергались разложению и гумификации, в том числе за счет дополнительного поступления органического материала с опадом листвы молодых деревьев. С глубины 70 см содержание $C_{\text{орг}}$ выравнивается во всех почвах и колеблется в пределах $\pm 0,2\%$.

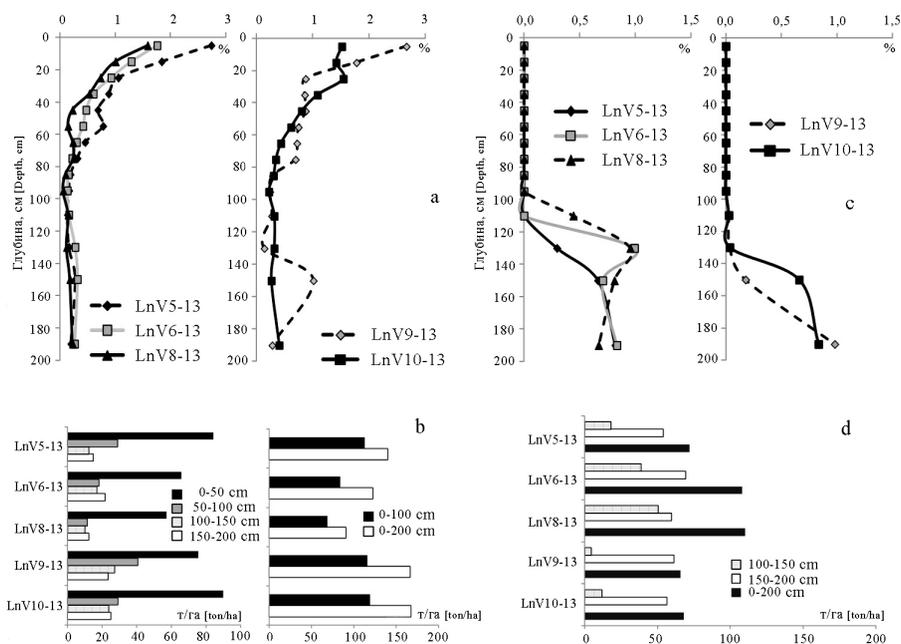


Рис. 5. Содержание (а) и запасы (b) органического углерода, содержание (с) и запасы (d) углерода карбонатов в исследованных почвах
 [Fig. 5. The content (a) and the stocks (b) of organic carbon, the content (c) and the stocks (d) of carbonate carbon in the studied soils]

Запасы углерода органических соединений в верхних 0–50 см и 50–100 см закономерно уменьшались от целинной почвы (разр. LnV5-13) к залежной под лугом (разр. LnV8-13) (см. рис. 5, *b*). Такая же картина наблюдалась и для толщ 0–100 и 0–200 см.

В пахотной почве 4-го квартала содержание углерода органических соединений ниже на 1,1% в верхних 10 см, чем в целинной (см. рис. 5, *a*). Но уже на глубине 20 см содержание углерода органических соединений становилось выше в пахотной почве, чем в целинной на 0,7%. А далее, с глубины 50 см, содержание углерода органических соединений снова выше в целинной почве. В целинной почве в горизонте BCt1 на глубине 140 см происходило резкое увеличение содержания $C_{\text{орг}}$. Согласно нашим исследованиям [16], такой скачок в содержании $C_{\text{орг}}$ на данной глубине может быть признаком средневалдайского педогенеза (гумусовый горизонт брянской палеопочвы).

Запасы $C_{\text{орг}}$ в слое 0–50 см выше в пахотной почве, чем в целинной (см. рис. 3, *b*). Увеличение запасов и содержания $C_{\text{орг}}$ в пахотном горизонте серых почв в результате длительной распашки ранее отмечалось Ю.Г. Чендевым, И.Ю. Савиным [5, 26]. Тем не менее запасы органического углерода в слоях 50–100 см, 100–150 см и 150–200 см выше в целинной почве, а запасы в слоях 0–100 см и 0–200 см в пахотной и целинной почвах близки.

Углерод карбонатов ($C_{\text{карб}}$) практически отсутствует в верхней части профиля всех изучаемых почв, а затем нарастает с глубиной (см. рис. 5, *c*). В 9-м квартале по характеру кривой распределения карбонатов видно, что в почвах залежей они располагаются выше на 10–20 см, чем в лесу. Максимум в распределении карбонатов отмечается на 40 см выше в залежах, чем в лесу. При этом в почве луговой залежи максимум в содержании карбонатов выражен лучше, чем в залежи под мелколесьем. Характер распределения $C_{\text{карб}}$ в профилях залежных почв связан с особенностями их водного режима в пахотную стадию функционирования. Во время распашки интенсивность восходящих потоков воды была увеличена, что являлось причиной подтягивания карбонатов вверх профиля [25]. Затем, после забрасывания и зарастания пашни, восходящие токи влаги стали менее интенсивными, в профиле преобладало нисходящее движение воды, за счет которого карбонаты вымывались из текстурной толщи и накапливались на глубине промачивания. Картина перераспределения карбонатов после забрасывания пашни ярче выражена в разрезе LnV6-13 – почва под мелколесьем, поскольку здесь процесс «обратного» перераспределения, т.е. опускания карбонатов, идет интенсивнее за счет влияния древесной растительности.

В 4-м квартале карбонаты залежали с глубины 140–160 см как в целинной, так и в пахотной почвах, но при этом их содержание в пахотной почве выше на 0,5% (см. рис. 5, *c*).

Запасы углерода карбонатов в слое 0–100 см во всех почвах равны нулю (рис. 5, *d*). В слоях 100–150 см, 0–200 см, запасы $C_{\text{карб}}$ закономерно увеличиваются в ряду: целинная почва (LnV5-13) – залежь с возобновлением леса

(LnV6-13) – залежь с лугом (LnV8-13). Таким же образом запасы $C_{\text{карб}}$ изменяются в ряду целинная почва (LnV9-13) – пахотная почва (LnV10-13) в слое 100–150 см. Запасы $C_{\text{карб}}$ в слое 0–200 см в целинной и пахотной почвах практически не различаются. Это доказывает, что карбонаты в пахотной почве перераспределяются в пределах почвенного профиля.

В 9-м квартале наибольшую величину радиоуглеродного возраста имели карбонаты из почвы луговой залежи, при этом глубина отбора образцов на датирование в этой почве была наименьшей в изучаемом ряду (таблица). В целом почвы залежей имели заметно больший ^{14}C -возраст карбонатов по сравнению с почвами из-под леса. Карбонаты в почвах под коренным лесом в 4-м и 9-м кварталах имели очень близкие величины ^{14}C -дат. Тогда как ^{14}C -дата карбонатов почвы пашни почти в два раза превышала таковые из почв под коренным лесом и существенно больше возраста карбонатов залежных почв 9-го квартала. Отметим, что ^{14}C даты карбонатов в залежных почвах все же ближе к величинам дат в лесу, а не на пашне. Это подтверждает уже высказанное выше предположение, что при переходе от пашни к залежи в почве начинают преобладать нисходящие потоки воды, а следовательно, выщелачивание, перекристаллизация и омоложение карбонатов; прекращается подтягивание «древних» карбонатов из почвообразующей породы. Результаты этих процессов вполне уже успели проявиться за 40 лет нахождения почв в залежном состоянии, т.е. имеют характерное время проявления – первые десятки лет.

**Радиоуглеродные даты карбонатных аккумуляций на верхней границе
их появления в профилях изучаемых почв**
[Radiocarbon dates of carbonate accumulations at the upper boundary
of their occurrence in the profiles of the studied soils]

№ разреза [Profile number]	Глубина, см [Depth, cm]	^{14}C -возраст, лет [^{14}C -age, years]
LnV5-13 (N 50,60916°; E 35,96770°)	120–125	7 146±100
LnV6-13 (N 50,60915°; E 35,96696°)	115–120	7 997±70
LnV8-13 (N 50,60946°; E 35,96612°)	102–104	8 419±70
LnV9-13 (N 50,63222°; E 35,97978°)	140–145	6 980±100
LnV10-13 (N 50,63273°; E 35,98198°)	135–140	11 763±150

Заключение

Пахотные почвы отличаются от целинных (под коренным лесом) наличием специфической слоистой структуры в пахотном горизонте, его резким уплотнением и обогащением илистой фракцией, наличием четко выраженных скелетан в субэлювиальном горизонте и отсутствием железисто-гумусо-глинистых кутан в текстурном горизонте. Если следы деятельности землероев хорошо видны в гумусовом и субэлювиальном горизонтах целинной почвы, в пахотной почве деятельность крупных землероев и мезофауны перемещается глубже и становится заметной даже в нижней части горизон-

та ВСт. Снижение содержания органического углерода отмечено только в самой верхней части пахотного горизонта, что слабо отражается на запасах $C_{\text{орг}}$, учитывая увеличение плотности верхних горизонтов пахотной почвы. Карбонаты немного подтянуты в пахотной почве, запасы $C_{\text{карб}}$ в слое 100–150 см в этой почве в два раза превышают таковые в целинной почве, что отражается на общих запасах $C_{\text{карб}}$ в двухметровой толще, которые равны в сравниваемых почвах. При этом радиоуглеродный возраст карбонатов в пахотной почве почти в два раза выше, чем в целинном аналоге. Это указывает на существенно различные процессы, происходящие в карбонатном горизонте сравниваемых почв. Если в целинной почве происходит преимущественно инситное растворение и перекристаллизация карбонатов при нисходящих потоках влаги, то в пахотной отмечается преобладание или, по крайней мере, наличие восходящих потоков влаги, несущих «древние» карбонаты.

В залежных почвах происходит разуплотнение бывших пахотных горизонтов, постепенное накопление органического углерода в верхней части профиля, интенсифицируется выщелачивание карбонатов. И хотя запасы карбонатов больше в залежных почвах, чем под коренным лесом, уже заметны результаты процессов перекристаллизации и выщелачивания карбонатов, что установлено по омоложению их ^{14}C -возраста. Это омоложение стало возможным благодаря поступающему с нисходящими почвенными растворами «молодому» CO_2 из атмосферы и корней растений. Параметры карбонатного состояния залежных почв в лесостепной зоне зависят от характера постагрогенной сукцессии. Карбонатный профиль почвы луговой залежи закономерно демонстрирует несколько более «аридные» черты, чем почвы залежи под мелколесьем. Карбонаты подтягиваются к поверхности почвы наиболее близко на пашне, расположены ниже – под травянистой растительностью, а наиболее глубоко – под древесной.

Литература

1. Козловский Ф.И., Чаплин В.А. Агродеградация черноземов // Степи Русской равнины: состояние, рационализация аграрного освоения. М. : Наука, 1994. С. 174–191.
2. Ерёмин Д.И. Залесь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопашотных черноземов лесостепной зоны Зауралья // Плодородие. 2014. № 1 (76). С. 24–26.
3. Русанов А.М., Тесля А.В., Саягфарова А.М. Восстановление гумусного состояния степных черноземов под многолетней залежью // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 132–134.
4. Саблина О.А. Гумусное состояние черноземов сельскохозяйственных угодий Южного Зауралья // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11 (53). Часть 2. Ноябрь. С. 138–140. doi: [10.18454/IRJ.2016.53.228](https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.228)
5. Савин И.Ю., Чендев Ю.Г. Изменение во времени содержания гумуса в пахотных лесостепных почвах // Почвоведение. 1994. № 5. С. 88–92.
6. Шпедт А.А., Вергейчик П.В. Оценка скорости восстановления гумусного состояния почв Красноярского края в условиях залежи // Вестник АГАУ. 2014. № 6 (116). С. 48–52.

7. Bruun T.B., Elberling B., de Neergaard A., Magid J. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture // *Land Degradation & Development*. 2015. Dev. 26 (3). PP. 272–283. doi: 10.1002/ldr.2205
8. Francaviglia R., Benedetti A., Doro L., Madrau S., Ledda L. Influence of land use on soil quality and stratification ratios under agro-silvo- pastoral Mediterranean management systems. // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014. Vol. 183. PP. 86–92. doi: 10.1016/j.agee.2013.10.026
9. Хохлова О.С., Чендев Ю.Г., Мякшина Т.Н., Шишков В.А. Карбонатный пул педогенного углерода при разных типах и длительности использования пашни в Среднерусской лесостепи // *Почвоведение*. 2013. № 5. С. 583–594. doi: 10.7868/S0032180X13050079
10. Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Myakshina T.N., Alexandrovskiy A.L., Khokhlov A.A. Evolution of Chernozems in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland under long-term cultivation examined in the agro-chronosequences // *Quaternary International*. 2015. Vol. 365. PP. 175–189. doi: 10.1016/j.quaint.2014.10.012
11. Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Myakshina T.N. Change in pedogenic carbon stocks under different types and duration of agricultural management practices in the central Russian forest steppe // *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. Edited by Maren Oelbermann. Wageningen Academic Publishers. 2014. PP. 33–52. doi: 10.3920/978-90-8686-788-2_2
12. Kuznetsova A.M., Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Aleksandrovskii A.L. Evolution of the Carbonate State of Agrogenically Transformed Dark Gray Forest Soils in the Central Forest-Steppe // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43, № 13. PP. 1527–1534. doi: 10.1134/S1064229310130119
13. Kalinina, O., Krause, S. E., Goryachkin, S. V., Karavaeva, N. A., Lyuri, D. I., Giani, L. Self-restoration of post-agrogenic chernozems of Russia: Soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools // *Geoderma*. 2011. Vol. 162, № 1. PP. 196–206. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.02.005
14. Arevalo J.R., Fernandez-Lugo S., Reyes-Betancort J.A., Tejedor M., Jimenez C., Diaz F.J. Relationships between soil parameters and vegetation in abandoned terrace fields vs. non-terraced fields in arid lands (Lanzarote, Spain): An opportunity for restoration // *Acta Oecologica*. 2017. Vol. 85. PP. 77–84. doi: 10.1016/j.actao.2017.09.014
15. Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М. : Издательство ЛКИ, 2008. 692 с.
16. Путеводитель научных полевых экскурсий VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием научной конференции «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» (Белгород, 15–22 августа 2016 г.) / под ред. Ю.Г. Чендева. Москва ; Белгород : ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2016. 122 с.
17. Военно-топографическое управление. Трехверстная военно-топографическая карта. М 1:126000. Ряд XXII, Лист 14, г. Харьковской и Курской. СПб., 1875.
18. Лопатин И.Д. Сельскохозяйственный районы Курской губернии. Курск, 1923. 120 с.
19. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
20. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 235 с.
21. Растворова О.Г. Физика почв (Практическое руководство). Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.
22. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв : учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 1995. 264 с.
23. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.

24. Морозова Т.Д. Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М. : Наука, 1981. 282 с.
25. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск. 1996. 330 с.
26. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 3–15.

Поступила в редакцию 09.02.2018 г.; повторно 25.02.2018 г.;
принята 10.03.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Авторский коллектив:

Булышева Анна Михайловна – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (199178, г. Санкт Петербург, Россия, 16-я линия В.О., д. 29).

E-mail: anny_by@mail.ru

Хохлова Ольга Сергеевна – д-р геогр. наук, в.н.с. группы генезиса и эволюции почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (142290, г. Пушкино, Московская обл., Россия, ул. Институтская, 2).

E-mail: olga_004@rambler.ru

Русаков Алексей Валентинович – д-р геогр. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (199178, г. Санкт Петербург, Россия, 16-я линия В.О., д. 29).

E-mail: a.rusakov@spbu.ru

Мякшина Татьяна Николаевна – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории моделирования экосистем Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (142290, г. Пушкино, Московская обл., Россия, ул. Институтская, 2).

E-mail: mtn59@mail.ru

For citation: Bulysheva AM, Khokhlova OS, Rusakov AV, Myakshina TN. The change in carbonate state of arable and abandoned soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Nature Reserve “Les-na-Vorskla”). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:6-26. doi: 10.17223/19988591/41/1 In Russian, English Summary

Anna M. Bulysheva¹, Olga S. Khokhlova², Aleksey V. Rusakov¹, Tatyana N. Myakshina²

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

The change in carbonate state of arable and abandoned soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Nature Reserve “Les-na-Vorskla”)

With agricultural use of soils, their functioning changes. This causes a transformation of their composition and properties. Dehumification, compaction, acidification (decalcification), carbonatization and alkalinization can occur in soils (Phaeozems and Chernozems) of the southern part of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland in the process of agricultural use. Pedogenic carbon in humus and carbonates undergoes changes, too. The aim of the research was to study changes in the properties of arable and abandoned soils in comparison with virgin Phaeozems of the forest-steppe zone. Particular attention was paid to their carbonate state. The objects of the study were the soils of the “Belogorye” reserve at the “Les-na-Vorskla” site.

We studied two key sites. Both sites have similar geomorphological and lithological conditions. The first site includes the following soil profiles: LnV5-13, LnV6-13 and LnV8-13. The second site includes LnV9-13 and LnV10-13 (See Fig. 1).

We studied soils of 40-year-old abandoned lands (at the sites with forest and meadow renewal), arable and virgin soils. During field work, we carried out morphological description of the investigated soil profiles and determined the classification position according to the "Classification and diagnostics of soils in Russia". The bulk density was determined by the ring method in triplicate. The grain size composition of the profiles was determined by the pipette method with sodium pyrophosphate dispersion, the soil organic content was determined by the Tyurin method of wet combustion and the carbonate content calculated manometrically. We estimated the stocks of these substances. We collected undisturbed soil samples from the main soil horizons of all the studied profiles and prepared thin sections. Micromorphological analysis of the thin sections was carried out and radiocarbon dating of carbonates from the upper depth of their occurrence in the studied profiles was carried out.

We showed that the arable soil differs from the virgin one in morphology. The arable soil has a specific layered microstructure in the plowed horizon. Clearly expressed grains of quartz appeared in the sub-eluvial horizon. In the texture horizon of the arable soil there are no ferruginous-humus-clay films that were found in the virgin soil (See Figures). The traces of activity of large animals and soil mesofauna shifted from humus and sub-eluvial horizons in the virgin soil into the textured horizons up to the BCt horizon in the arable soil. The bulk density of the plowed horizon in the abandoned and arable soils is higher than that of the humus horizon of the virgin soil. The bulk density of the subsurface horizon in the abandoned soils under meadow still shows increased values. The bulk density of the subsurface horizon of the abandoned soil under forest was almost equal to that of the virgin soil (See Figures). In the arable soil, the bulk density of the texture horizon increases in comparison with the virgin soil. The content of clay particles of the deep layers in the arable soil shows increased values as compared with the virgin soil. The enrichment of clay fraction is also observed in the arable horizons of the abandoned and arable soils in comparison with the virgin one. The content of organic carbon in the former arable horizon and its stocks in the 0-50 cm and 50-100 cm layers of the abandoned soils is lower than in the virgin soil. On the other hand, in the arable soil the content of organic carbon and its stocks in the 0-50 cm layer is higher than in the virgin soil, as noted previously by other researchers. The arable soil differs from the virgin one by a lesser depth of occurrence of carbonates in the profile and their substantially higher ^{14}C -age (See Table). For 40 years in the abandoned state, the carbonates are gradually leached out. The stocks of carbonates are still higher than in the virgin soil, but the equalization of the radiocarbon age of carbonates in them clearly indicates the processes of carbonate re-crystallization and leaching. The main role in changing arable Phaeozems in the process of their abandonment is played by vegetation, which affects the redistribution of moisture, the accumulation of organic and carbonate carbon, and the bulk density and processes of transformation of the soil structure of the former arable horizons.

The paper contains 5 Figures, 1 Table and 26 References.

Keywords: abandoned soils; arable soils; carbonate state; forest-steppe zone; radiocarbon dating of carbonates; Phaeozems.

Funding: This work was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research No 16-05-00669a.

References

1. Kozlovskiy FI, Chaplin VA. Agrodegradatsiya chernozemov [Agrodegradation of chernozems]. In: *Stepi Russkoy ravniny: sostoyanie, ratsionalizatsiya agrarnogo osvoeniya* [Steppes of the

- Russian Plain: State and rationalization of agricultural development]. Zonn S, Chernyshev E and Runova T, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1994. pp. 174-191. In Russian
2. Eremin DI. Fallowing as a means for restoring the content and reserves of humus in old arable chernozems of the transural forest-steppe zone. *Plodorodie*. 2014;1(76):24-26. In Russian
 3. Rusanov AM, Teslya AV, Sayagfarova AM. Vosstanovlenie gumusnogo sostoyaniya stepnykh chernozemov pod mnogoletney zalezhyu [Humus recovery status under steppe chernozem long-term deposits]. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;12(131):132-134. In Russian
 4. Sablina OA. Humus state of soil in farmland of south Zauralye. *International Research Journal*. 2016;11(53, Pt. 2):138-140. doi: [10.18454/IRJ.2016.53.228](https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.228)
 5. Savin IYu, ChendeV YuG. Izmenenie vo vremeni sodержaniya gumusa v pakhotnykh lesostepnykh pochvakh [A change in the time of humus presence in arable forest-steppe soils]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 1994;5:88-92. In Russian
 6. Spedt AA, Vergeychik PV. Evaluation of restoration rate of humus status of soils of the idle lands in the Krasnoyarsk region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;6(116):48-52. In Russian
 7. Bruun, TB, Elberling, B, de Neergaard, A, Magid, J. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. *Land Degradation & Development*. 2015;26(3):272-283. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2205>
 8. Francaviglia R, Benedetti A, Doro L, Madrau S, Ledda L. Influence of land use on soil quality and stratification ratios under agro-silvo-pastoral Mediterranean management systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014;183:86-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.026>
 9. Khokhlova OS, Myakshina TN, ChendeV YG, Shishkov VA. The pool of pedogenic carbon in the soils of different types and durations of use as croplands in the forest-steppe of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*. 2013;46:530-540. doi: [10.1134/S1064229313050062](https://doi.org/10.1134/S1064229313050062)
 10. Khokhlova OS, ChendeV YuG, Myakshina TN, Alexandrovskiy AL, Khokhlov AA. Evolution of Chernozems in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland under long-term cultivation examined in the agro-chronosequences. *Quaternary International*. 2015;365:175-189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.012>
 11. Khokhlova OS, ChendeV YuG, Myakshina TN. Change in pedogenic carbon stocks under different types and duration of agricultural management practices in the central Russian forest steppe. In: *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. Oelbermann M, editor. Wageningen: Academic Publishers; 2014. pp. 33-52. doi: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2_2
 12. Kuznetsova AM, Khokhlova OS, ChendeV YuG, Aleksandrovskii AL. Evolution of the carbonate state of agrogenically transformed dark gray forest soils in the central forest-steppe. *Eurasian Soil Science*. 2010;43;13:1527-1534. doi: [10.1134/S1064229310130119](https://doi.org/10.1134/S1064229310130119)
 13. Kalinina O, Krause SE, Goryachkin SV, Karavaeva NA, Lyuri DI, Giani L. Self-restoration of post-agrogenic chernozems of Russia: Soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools. *Geoderma*. 2011;162;1:196-206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.005>
 14. Arevalo JR, Fernandez-Lugo S, Reyes-Betancort JA, Tejedor M, Jimenez C, Diaz FJ. Relationships between soil parameters and vegetation in abandoned terrace fields vs. non-terraced fields in arid lands (Lanzarote, Spain): An opportunity for restoration. *Acta Oecologica*. 2017;85:77-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.014>
 15. *Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions*. Targulian VO and Goryachkin SV, editors. Moscow: LKI Publishers; 2008. 692 p. In Russian, English Summary
 16. *Putevoditel' nauchnykh polevykh ekskursiy VII s'ezda Obschestva pochvedov im.*

- V.V. Dokuchaeva i Vserossiyskoy s zarubezhnym uchastiem nauchnoy konferentsii «Pochvovedenie-prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany» [Soil Science-food and ecological security of the country. Scientific field trip guide of the VII Congress of VV Dokuchaev Soil Science Society and the All-Russian Sci. Conf. with Int. Part. (Belgorod, 15-22 August 2016)]. Chendev YuG, editor. Moscow - Belgorod: Belgorod State University Publ.; 2016. 122 p. In Russian
17. *Military topographic management*. Three-verst military topographic map. Scale 1: 126000. Series XXII, Sheet 14, Kharkov and Kursk. St. Petersburg, 1875. In Russian
 18. Lopatin ID. Sel'skokhozyaystvennyy rayony Kurskoy gubernii [Agricultural areas of Kursk province]. Kursk: Kurskiy Gubplan Publ.; 1923. 120 p. In Russian
 19. *IUSS Working Group WRB*. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome. [Electronic resource]. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf> (assessed 29.12.2017)
 20. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
 21. Rastvorova OG. Fizika pochv (Prakticheskoe rukovodstvo) [Soil Physics (Practical Guide)]. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1983. 196 p. In Russian
 22. Rastvorova OG, Andreev DP, Gagarina EI, Kasatkina GA, Fedorova NN. Khimicheskii analiz pochv: uchebnoe posobie [Chemical analysis of soils. Tutorial]. St. Petersburg: St. Petersburg State University Publ.; 1995. 264 p. In Russian
 23. Vorob'eva LA. Khimicheskii analiz pochv [Chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1998. 272 p. In Russian
 24. Morozova TD. Razvitie pochvennogo pokrova Evropy v pozdnem pleystotsene [Development of the soil cover of Europe in the late Pleistocene]. Moscow: Nauka Publ.; 1981. 282 p. In Russian
 25. *Agroekologicheskoe sostoyanie chernozemov TsChO* [Agroecological state of chernozems in Central Chernozem Region]. Shcherbakova AP and Vaseneva II, editors. Kursk. 1996. 330 p. In Russian
 26. Chendev YG, Novykh LL, Aleksandrovskii AL, Dolgikh AV, Khokhlova OS, Smirnova LG. Anthropogenic evolution of dark gray forest-steppe soils in the southern part of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*. 2011;44:1-12. doi [10.1134/S1064229311010030](https://doi.org/10.1134/S1064229311010030)

Received 09 February 2018; Revised 25 February 2018;

Accepted 10 March 2018; Published 30 March 2018

Autors info:

Bulysheva Anna M, PhD Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Saint Petersburg State University, 29 16-Ya Liniya V.O., Saint Petersburg 199178, Russian Federation.

E-mail: anny_by@mail.ru

Khokhlova Olga S, Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher, Group of Genesis and Evolution of Soils, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya Str., Pushchino 142290, Russian Federation.

E-mail: olga_004@rambler.ru

Rusakov Alexey V, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Soil Ecology, Saint Petersburg State University, 29 16-Ya Liniya V.O., Saint Petersburg 199178, Russian Federation.

E-mail: a.rusakov@spbu.ru

Myakshina Tatyana N, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Ecosystem Modeling Laboratory, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya Str., Pushchino 142290, Russian Federation.

E-mail: mtn59@mail.ru

УДК 631.472.54 + 631.41
doi: 10.17223/19988591/41/2

И.А. Дубровина

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, Россия

Изменение содержания общего углерода, азота и фосфора в почвах таежной зоны Республики Карелия при сельскохозяйственном использовании

Работа выполнена в рамках Госзадания № 0221-2017-0047.

Представлены результаты мониторингового исследования влияния сельскохозяйственного использования на содержание общего углерода, азота и фосфора в верхних горизонтах почв разного генезиса. Исследованы почвы сельскохозяйственных угодий и лесные почвы прилегающих территорий в среднетаежной подзоне Карелии. Показано, что антропогенная трансформация оказывает различное влияние на содержание основных биогенных элементов в верхних горизонтах почв в зависимости от происхождения и состава почвообразующих пород. Так, в органогенных горизонтах почв подзолистого ряда существует тенденция увеличения содержания общего углерода, азота и фосфора. В почвах с торфяными горизонтами доминирует противоположный процесс, когда при активном антропогенном воздействии в них значительно снижается содержание углерода и азота в верхних горизонтах и в целом повышается степень минерализации торфа. Антропогенное воздействие не влияет на содержание валового фосфора в торфяных почвах. Наиболее устойчивыми к антропогенным влияниям являются почвы на иунгитовых породах, где изменение содержания основных биогенных элементов незначительно.

Ключевые слова: *пахотный горизонт; сельхозугодья; биогенные элементы; Podzols; Retisols; Umbrisols; Histosols.*

Введение

Антропогенное воздействие на почвы является одним из самых быстрых и мощных факторов эволюции почвенного покрова. При сельскохозяйственном освоении верхние горизонты почв подвергаются механическому и химическому воздействию, вследствие чего нарушаются баланс поступления органических и минеральных веществ и микробиологическая активность почв. Особенно сильные изменения претерпевают торфяные почвы, подвергшиеся коренным мелиорациям. Естественные растительные сообщества заменяются монодоминантными агроэкосистемами с ежегодным отчуждением фитомассы. Весь этот комплекс факторов приводит к изменениям в морфологическом строении профиля, в химических, физико-химических

свойствах и составе органического вещества, в водном и тепловом режимах почв. Это позволяет выделять в данных почвах особый – антропогенный – процесс почвообразования [1–2]. Первым всю силу антропогенного воздействия принимает на себя верхний горизонт почвы. Пахотный горизонт наиболее активно изменяется под влиянием агротехнических мероприятий, отражая особенности антропогенного почвообразования в морфологических признаках, которые могут сохраняться в почвах длительное время [3–4]. Устойчивость агрогенных признаков зависит от многих факторов, среди которых на первом месте стоят степень трансформации почвы и зональные биоклиматические условия. В таежной зоне признаки пахотных горизонтов в залежи под лесом сохраняются достаточно длительный период времени [5–6]. Следует отметить, что в Карелии строение профиля как минеральных антропогенно-преобразованных, так и мелиорированных гидроморфных почв значительно отличается от естественных аналогов [7–8]. В бореальных экосистемах сравнительные исследования свойств природных и антропогенно-преобразованных почв немногочисленны [9–11]. Недостаточно изучено содержание основных биогенных элементов, хотя известно, что любые изменения в землепользовании ведут к изменению запасов углерода и других биогенов в почвах, поэтому необходим мониторинг их содержания для осуществления эффективного контроля и управления почвенными ресурсами. В настоящее время исследования, посвященные геохимическим циклам биогенных элементов, особенно актуальны в связи с глобальными изменениями климата [12–13]. Основу круговорота биогенов в биосфере составляют процессы ассимиляции и распада веществ, сопровождаемые поглощением и выделением энергии, и наиболее четко это прослеживается в цикле углерода. Малый биологический круговорот служит одним из механизмов, обеспечивающих устойчивость природной среды, и прежде всего это касается баланса углерода, когда увеличение его содержания в атмосфере сопровождается таким же ростом поглощения биотой суши и океана [14–15]. Поскольку почва является многокомпонентной средой и служит центральным звеном биологического круговорота веществ, то во многом именно состояние почвы определяет стабильность наземных экосистем.

Цель работы – мониторинг содержания основных биогенных элементов (N, P, C) в верхних горизонтах широкого спектра антропогенно преобразованных почв на различных почвообразующих породах, а также в целинных почвах под лесом. Результаты исследования позволяют выявить тенденции почвенных процессов в антропогенно-измененных почвах и оценить последствия антропогенного влияния на баланс биогенных элементов различных почв Карелии.

Материалы и методики исследования

Исследование проведено на четырех ключевых участках в Южной Карелии, что позволило охватить разнообразие почв сельскохозяйственных

угодий в зависимости от геоморфологических условий и почвообразующих пород (рис. 1).

Участок № 1 ($60^{\circ}52'51''\text{N}$; $32^{\circ}58'48''\text{E}$) в районе дер. Рыпушкалицы расположен в пределах Олонецкой равнины, занимающей широкую террасу на восточном побережье Ладожского озера. Равнина сложена пылеватыми суглинками и ленточными глинами, подстилаемыми валунным суглинком. Встречаются также более молодые озерные отложения. Почвы формируются в условиях периодически избыточного длительного увлажнения, преобладают глееватые и глеевые разности подзолистых почв.

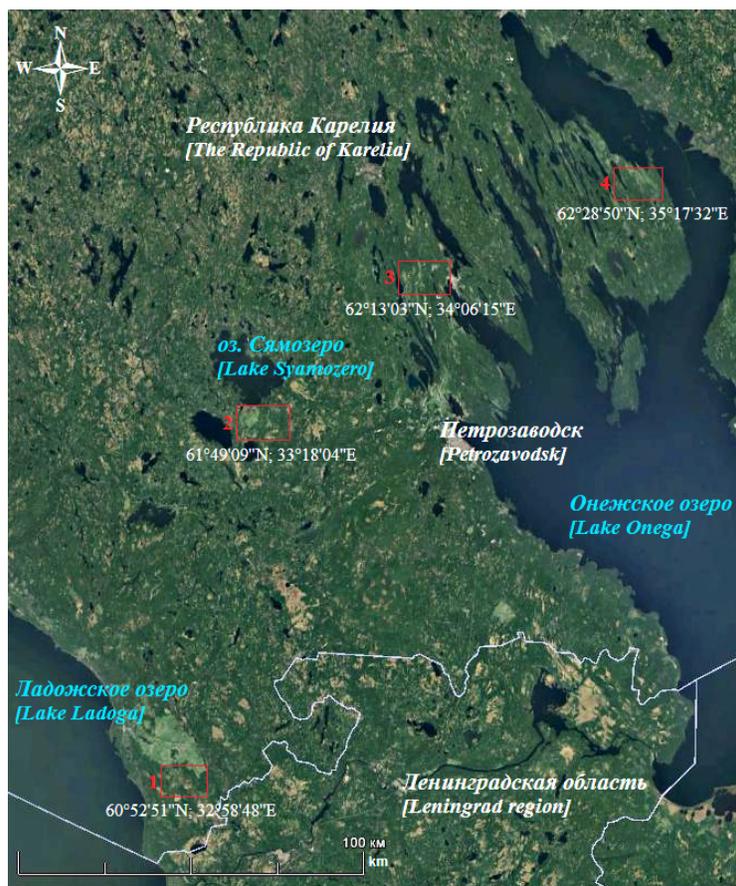


Рис. 1. Районы исследования: 1 – Олонецкая равнина; 2 – Шуйская низина; 3 – Шуйско-Сунский водораздел; 4 – Заонежский полуостров
[Fig. 1. Research areas: 1 - Olonets plain; 2 - Shuyskaya lowland; 3 - Shuysko-Sunsky watershed; 4 - Zaonezhsky peninsula]

Участок № 2 (61°49'09"N; 33°18'04"E) в районе пос. Эссоила представлен западным сектором Шуйской аккумулятивной озерно-ледниковой впадины – осушенным болотным массивом Корзинская низина с преобладанием залежи низинного типа с хорошо разложившимся торфом, подстилаемым озерно-ледниковыми ленточными глинами. В северо-западной части низины распространены легкие по гранулометрическому составу песчаные и супесчаные моренные и флювиогляциальные отложения. Возвышенные формы рельефа заняты подзолистыми почвами с признаками гумусово-аккумулятивного процесса.

Участок № 3 (62°13'03"N; 34°06'15"E) в районе дер. Вороново расположен на песчаной аккумулятивной озерно-ледниковой равнине, лежащей в пределах Шуйско-Сунского водораздела. Почвообразующие породы – озерные пески, а в долине реки Суна – суглинки и глины. Распространены сильноподзолистые почвы, а также подзолы иллювиально-железистые.

Участок № 4 (62°28'50"N; 35°17'32"E) в районе пос. Толвуя характеризуется денудационно-тектоническим холмисто-грядовым рельефом, типичным для Заонежского полуострова. Коренные породы представлены шунгитовыми сланцами, распространенными в основном на юго-востоке Заонежья. На большей части территории почвообразование идет на элюво-делювии шунгитовых сланцев и шунгитовой морене, что способствует развитию специфических темноцветных почв. На полуострове практически отсутствуют почвы подзолистого ряда [16–17].

В целом климат Карелии умеренно-холодный, переходный от морского к континентальному. Исследованные участки лежат в пределах Южного агроклиматического района с наиболее благоприятными условиями для растениеводства. Характеризуется средними температурами января в пределах от –8 до –11 °С, июля +16 °С. Продолжительность безморозного периода составляет 115–130 дней. Сумма эффективных температур за вегетационный период составляет 1 500 °С при 650 мм осадков в год. Естественная растительность относится к среднетаежной подзоне зеленомошных хвойных лесов – ель и сосна с примесью мелколистных пород деревьев [18–19].

Полевые исследования проведены методами традиционной почвенной съемки. Почвенные разрезы закладывали на сельскохозяйственных угодьях (сенокосы, пастбища, залежь до 5 лет) и на прилегающих территориях под естественной лесной растительностью. Генеральная выборка составляет 73 разреза. Почвы диагностировали согласно Классификации и диагностике почв России 2004 г. [20]. Образцы отбирали из средней части верхних горизонтов почв. В мощных горизонтах анализировали смешанный образец с глубин 0–20 см и > 20 см. В почвенных образцах определяли рН солевое (KCl) потенциметрически, содержание общего азота – по Кьельдалю и валового фосфора – по ГОСТ 26261–84 [21], содержание общего углерода – методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе TOC-L CPN (Shimadzu, Япония). Для статистической обработки данных использовали *t*-тест Стьюдента для сравнения средних в не-

зависимых выборках при анализе различных показателей в минеральных почвах под лесом и под сельхозугодьями. Для анализа различий в почвах сельхозугодий (отдельно в минеральных почвах и почвах на торфах) применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным анализом по критерию Тьюки. Статистический анализ данных проводился с использованием программы PAST Statistics [22].

Результаты исследования и обсуждение

Умеренно холодный и влажный климат Карелии, преобладание лесной растительности способствуют распространению зонального подзолистого процесса почвообразования и заболачивания. Почвенный покров отличается сложным строением, высокой степенью мозаичности и мелкоконтурности. В значительной степени почвенное разнообразие обусловлено различиями в почвообразующих породах и сильной расчлененностью рельефа. Минеральные почвы сельскохозяйственных угодий приурочены в основном к четвертичным отложениям последнего оледенения. Строение профиля и свойства этих почв в большой мере зависят от гранулометрического состава пород. Особняком стоят интразональные почвы, сформированные на шунгитовых сланцах и морене. Поэтому для анализа минеральные почвы были сгруппированы следующим образом: почвы на песках и супесях, на суглинках и глинах и почвы на шунгитах (табл. 1).

Естественные почвы на песчаных и супесчаных породах – это мало мощные дерново-подзолы иллювиально-железистые (AY-E-BF-C) и дерново-подбуры иллювиально-железистые (AY-BF-C). Почвы сильноокислые (среднее pH 3,7), мощность серогумусового горизонта 2–8 см. Содержание углерода, азота и фосфора самое низкое среди изученных почв. Антропогенно измененные почвы на легких породах в основном представляют собой короткопрофильные агроземы светлые типичные (P-C) и агроземы альфегумусовые иллювиально-железистые (P-BF-C). Это песчаные и супесчаные слабокислые почвы, pH в среднем составляет 5,3. Мощность агрогумусовых горизонтов сильно варьирует и в некоторых случаях не соответствует агроземам (> 25 см). Это объясняется изначальной малой мощностью верхних горизонтов лесных почв, поэтому они отнесены к отделу агроземов, а не агрообраземов. Содержание изученных биогенных элементов значительно выше (статистически достоверные отличия с высоким уровнем значимости), чем в естественных почвах на легких породах. Известно, что в целом целинные почвы значительно богаче органическим веществом, чем сельскохозяйственные, но органическое вещество лесных почв сосредоточено в основном в лесной подстилке в составе слабо гумифицированных соединений, а в минеральных горизонтах его содержание незначительно [23]. Соотношение C : N в почвах на песках и супесях узкое, средние значения близки в естественных и антропогенных почвах и составляют 13–14.

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Статистические показатели органогенных и гумусовых
горизонтов минеральных почв разных землепользований**
[Statistical indicators of the topsoil of mineral soils for different land use]

Показатели [Indicators]	Почвообразующие породы [Parent rocks]	Лес [Forest]				Сельхозугодья [Farmland]			
		<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	min-max	<i>V</i> , %	<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	min-max	<i>V</i> , %
Мощность горизонта, см [The horizon thickness, cm]	Пески и супеси [Sand and sandy loam]	6	5,17 ± 1,05*	2–8	49,60	7	24,43 ± 2,87*	14–35	31,07
	Суглинки и глины [Loam and clay]	6	5,83 ± 0,95*	3–10	39,71	14	25,14 ± 1,93*	11–35	28,72
	Шунгитовые [Schungite]	6	20,83 ± 2,14	15–28	25,11	13	22,31 ± 1,89	12–34	30,54
С, %	Пески и супеси [Sand and sandy loam]	6	1,35 ± 0,09**	1,12–1,76	16,96	7	2,92 ± 0,42**	1,41–4,30	38,46
	Суглинки и глины [Loam and clay]	6	2,92 ± 0,47	1,53–4,84	39,25	14	3,44 ± 0,30	1,98–6,15	32,26
	Шунгитовые [Schungite]	6	3,84 ± 0,35	3,11–5,37	22,62	13	4,53 ± 0,48	2,18–7,71	38,34
N, %	Пески и супеси [Sand and sandy loam]	6	0,11 ± 0,01*	0,08–0,14	19,06	7	0,26 ± 0,03*	0,18–0,40	29,88
	Суглинки и глины [Loam and clay]	6	0,15 ± 0,02**	0,10–0,19	24,22	14	0,30 ± 0,03**	0,17–0,53	42,19
	Шунгитовые [Schungite]	6	0,37 ± 0,03	0,25–0,46	20,19	13	0,40 ± 0,03	0,20–0,53	24,04
C : N	Пески и супеси [Sand and sandy loam]	6	14,06 ± 0,64	12,54–16,33	11,13	7	13,46 ± 1,89	7,15–20,44	37,16
	Суглинки и глины [Loam and clay]	6	23,87 ± 3,99**	10,50–35,29	41,03	14	14,97 ± 1,40**	4,54–22,24	34,94
	Шунгитовые [Schungite]	6	12,52 ± 1,16	9,17–16,57	22,64	13	13,01 ± 0,85	7,33–17,30	23,57
P ₂ O ₅ , %	Пески и супеси [Sand and sandy loam]	6	0,06 ± 0,02*	0,01–0,10	60,77	7	0,17 ± 0,02*	0,08–0,22	28,08
	Суглинки и глины [Loam and clay]	6	0,11 ± 0,02***	0,01–0,16	48,47	14	0,16 ± 0,01***	0,09–0,27	32,33
	Шунгитовые [Schungite]	6	0,23 ± 0,03	0,17–0,33	26,42	13	0,22 ± 0,02	0,13–0,29	24,10

Примечание. *V* – коэффициент вариации. Жирным шрифтом выделены статистически значимые отличия (для показателей в строке) между почвами на идентичных породах для разных землепользований. Уровни значимости: * *p* < 0,001; ** *p* < 0,01; *** *p* < 0,05.
Note. *V* - Coefficient of Variation. Significant differences (for indicators in the line) between soils on identical rocks for various land use are in bold with the following levels: * *p* < 0.001; ** *p* < 0.01; *** *p* < 0.05.

Почвы на суглинках и глинах относятся к отделу текстурно-дифференцированных. Под лесом формируются дерново-подзолистые типичные (AY-EL-BEL-BT-C) и их глееватые аналоги. Почвы сильноокислые, среднее pH 3,9, мощность серогумусового горизонта 3–10 см. Эти значения близки к лесным почвам на легких породах, но содержание биогенных элементов в этих почвах несколько выше. Агропочвы в зависимости от степени антропогенного воздействия классифицируются как агродерново-подзолистые типичные (P-BEL-BT-C) и их глееватые аналоги либо агроземы текстурно-дифференцированные глееватые (P-BTg-Cg). Почвы в основном легко- и среднесуглинистые, слабоокислые, pH 5,1, агрогумусовые горизонты имеют среднюю мощность 25 см. Содержание углерода, азота и фосфора выше, чем в почвах под лесом. Различия значений статистически значимы для N ($p < 0,01$) и P ($p < 0,05$) и статистически незначимы для углерода (см. табл. 1). Соотношение C : N в почвах под лесом значительно шире, чем под сельхозугодьями, где органическое вещество обогащено азотом.

Особняком стоят почвы, сформированные на шунгитовых породах. Шунгит – это минерал черного цвета с высоким содержанием углерода, он легко подвергается выветриванию и разрушению. Богатство элементного состава и благоприятные тепловые свойства шунгитовых пород повышают плодородие почв, сформированных на них [17]. Все изученные почвы на элювии шунгита и шунгитовой морене легкосуглинистые, со слабодифференцированным профилем, разной степени каменистости. Почвы относятся к отделу органо-аккумулятивных почв. Под лесом формируются серогумусовые темнопрофильные (AY-Cu), антропогенные аналоги – агрогумусовые темнопрофильные (P-AY-Cu). Все почвы имеют реакцию, близкую к нейтральной, pH в среднем 5,7. Верхние горизонты почв имеют практически одинаковую среднюю мощность – 20 см под лесом, 22 см под сельхозугодьями. Содержание биогенных элементов самое высокое среди минеральных почв, однако значения для естественных и агропочв практически не имеют различий. Средние значения C : N для шунгитовых почв составляют 12–13.

Представленные данные свидетельствуют, что антропогенная трансформация минеральных почв подзолистого ряда приводит к значительным изменениям в строении профиля почв и его свойств. В разы увеличивается мощность верхнего органогенного горизонта (с 5 до 25 см), сильноокислая pH (3,7–3,9) повышается до слабоокислой (5,1–5,3). В супесчаных почвах значимо повышается содержание углерода ($p < 0,01$), азота ($p < 0,001$) и фосфора ($p < 0,001$). В суглинистых почвах усиливается минерализация органического вещества (C : N изменяется с 23,8 в лесных до 14,9 в агропочвах), а также значимо повышается содержание азота ($p < 0,01$) и фосфора ($p < 0,05$). Почвы на шунгитовых породах менее подвержены видимым изменениям при агротрансформации. Мощность верхнего горизонта и pH имеют близкие значения для разных землепользований. Повышение содержания углерода, азота и фосфора в почвах под сельхозугодьями незначительно и статистически незначимо.

Если сравнивать содержание биогенов в агрогумусовых горизонтах минеральных агропочв на различных породах, то в целом они выстраиваются в ряд шунгитовые > суглинистые > супесчаные. Наибольшие значения по всем показателям имеют шунгитовые почвы. В них статистически значимо более высокое содержание азота, чем в супесчаных ($p < 0,005$) и суглинистых ($p < 0,05$) почвах, углерода чем в супесчаных ($p < 0,05$), фосфора – чем в суглинистых ($p < 0,01$). Различия в содержании биогенных элементов в суглинистых и супесчаных агропочвах статистически незначимы.

Изученные торфяные массивы представляют собой сельскохозяйственные угодья с различной степенью трансформации торфяной залежи низинного и переходного типов. Почвы были сгруппированы по мощности торфа (< или ≥ 50 см), и в свою очередь торфяные почвы ≥ 50 см разделены по степени антропогенной трансформации верхнего горизонта (табл. 2).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Статистические показатели агрогенных горизонтов
торфяных почв под сельхозугодьями
[Statistical indicators of the topsoil of peat soils under farmland]**

Показатели [Indicators]	Почвы и мощность торфяной залежи [Soils and peat deposit thickness]	n	$M \pm m$	min – max	V, %
Мощность горизонта, см [The horizon thickness, cm]	Торфяно-минеральные (< 50 см) [Peat-mineral soils (< 50 cm)]	5	$28,00 \pm 5,36$	10–39	42,78
	Торфоземы (≥ 50 см) [Torfozems (≥ 50 cm)]	10	$35,50 \pm 3,15$	20–50	28,02
	Торфяные (≥ 50 см) [Peat soils (≥ 50 cm)]	6	$18,00 \pm 1,00$	15–20	13,61
С, %	Торфяно-минеральные (< 50 см) [Peat-mineral soils (< 50 cm)]	5	$12,69 \pm 1,42$	9,32–17,70	24,97
	Торфоземы (≥ 50 см) [Torfozems (≥ 50 cm)]	10	$17,19 \pm 3,78$	4,47–34,28	69,47
	Торфяные (≥ 50 см) [Peat soils (≥ 50 cm)]	6	$47,91 \pm 2,31$	38,70–54,84	11,79
N, %	Торфяно-минеральные (< 50 см) [Peat-mineral soils (< 50 cm)]	5	$0,48 \pm 0,04$	0,33–0,60	20,38
	Торфоземы (≥ 50 см) [Torfozems (≥ 50 cm)]	10	$0,80 \pm 0,14$	0,21–1,58	56,94
	Торфяные (≥ 50 см) [Peat soils (≥ 50 cm)]	6	$1,64 \pm 0,12$	1,11–1,93	17,66
C : N	Торфяно-минеральные (< 50 см) [Peat-mineral soils (< 50 cm)]	5	$31,17 \pm 3,33$	21,39–41,30	23,90
	Торфоземы (≥ 50 см) [Torfozems (≥ 50 cm)]	10	$24,61 \pm 2,20$	15,56–36,13	28,33
	Торфяные (≥ 50 см) [Peat soils (≥ 50 cm)]	6	$35,15 \pm 3,49$	28,22–50,83	24,28
P ₂ O ₅ , %	Торфяно-минеральные (< 50 см) [Peat-mineral soils (< 50 cm)]	5	$0,26 \pm 0,05$	0,09–0,35	38,70
	Торфоземы (≥ 50 см) [Torfozems (≥ 50 cm)]	10	$0,28 \pm 0,03$	0,16–0,40	30,72
	Торфяные (≥ 50 см) [Peat soils (≥ 50 cm)]	6	$0,27 \pm 0,07$	0,10–0,54	59,99

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 1.

[Note. For symbols see Table 1].

Мощность торфа в 50 см принята в классификации [20] границей между стволами органогенных и постлитогенных почв. Часть почв органогенного ствола сохранила практически естественное строение верхних горизонтов и диагностирована как торфяные эутрофные типичные (TE-ТТ) и торфяные эутрофные иловато-торфяные (TE_{mg}-ТТ). Почвы сильнокислые, рН в среднем составляет 4,3. Мощность эутрофно-торфяных горизонтов невелика и составляет 15–20 см. Почвы характеризуются высоким содержанием углерода (48%) и азота (1,6%) и слабой разложённостью органического вещества, среднее значение C : N составляет 35. Данные почвы по строению и свойствам близки к целинным низинным торфяникам [24]. Объяснить это можно тем, что на данных участках верхний горизонт изначально подвергался минимальной антропогенной трансформации и в настоящее время они имеют слабую нагрузку в процессе сельскохозяйственного производства (использование под сенокосы).

В свою очередь, почвы с мощностью торфа ≥ 50 см и верхним горизонтом, сильно преобразованным в ходе освоения, диагностированы как торфоземы агроминеральные (PTR-ТТ) в отделе торфоземы. Мощность агроторфяно-минеральных горизонтов PTR составляет порядка 35 см, это примерно в 2 раза выше, чем средняя мощность горизонтов TE торфяных почв. Это среднекислые почвы (рН 5,0) с более низкими содержанием углерода ($p < 0,001$), азота ($p < 0,005$) и соотношением C : N ($p < 0,01$), чем в торфяных эутрофных почвах. Средние значения C : N составляют 24, это самый узкий показатель для почв, развитых на торфах. Содержание углерода и азота в торфоземах неоднородно и представляет собой широкий разброс величин, характерных как для минеральных, так и для торфяных почв. Эта особенность торфоземов связана с историей их освоения, в ходе которого верхняя часть торфяной залежи подвергалась интенсивному перемешиванию с песком, глиной и известью, что послужило формированию агроторфяно-минеральных горизонтов PTR.

Почвы с мощностью торфа < 50 см диагностированы как агроторфяно-глееземы минерально-торфяные (PT_{mg}-T-G-CG) в отделе глеевых либо агроземы минерально-торфяные (PT_{mg}-C) в отделе агроземы. Почвы имеют значительно трансформированные верхние горизонты PT_{mg}, мощность которых сильно варьирует и в среднем составляет 28 см. Почвы среднекислые (рН 4,9), имеют более низкое содержание углерода ($p < 0,001$) и азота ($p < 0,005$), чем торфяные эутрофные почвы. Значения C:N колеблются от 21 до 41, в среднем составляя 31. В данных почвах самое низкое содержание биогенных элементов среди изученных торфяных почв. Статистически значимых различий в содержании углерода и азота между торфяно-минеральными почвами и торфоземами не наблюдается. В целом по содержанию основных биогенов в верхних горизонтах торфяные почвы выстраиваются в ряд торфяные > торфоземы > торфяно-минеральные. Содержание фосфора во всех торфяных почвах сильно варьирует, но среднее значение примерно

одинаково и составляет 0,26–0,28%. Это достаточно высокий показатель, который характерен для торфяников, обогащенных фосфатами.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о наличии разнонаправленных тенденций в изменении содержания биогенных элементов антропогенно измененных почв Южной Карелии. Они обусловлены в первую очередь различиями в составе и свойствах почвообразующих пород. Полученные данные отражают изменения в содержании основных биогенных элементов в минеральных почвах подзолистого ряда при сельскохозяйственном использовании, характерные для бореальных условий. В верхних горизонтах почв происходит накопление углерода и связанного с ним азота, а также фосфатов [2, 9]. Исследованные нами почвы подтверждают эту зависимость, так как под многолетними лугово-пастбищными угодьями протекает аккумулятивно-гумусовый процесс, при котором происходит накопление углерода и биогенных элементов [1, 11]. Для почв на богатых углеродом шунгитовых породах изменения при смене землепользования как в строении профиля, так и в содержании элементов незначительны. Сходная динамика наблюдается при окультуривании черноземных и темно-каштановых почв с высоким содержанием гумуса [2]. Известно, что по запасам гумуса, его составу и насыщенности основаниями шунгитовые почвы близки к черноземам [16–17]. В данных почвах изначально высокий уровень плодородия, развиты буферные свойства, которые сглаживают антропогенные воздействия при смене землепользования. В отличие от минеральных почв, сформированные в условиях гидроморфности торфяные почвы при осушении и сельскохозяйственном использовании подвергаются различной степени деструкции и деградации. Наиболее уязвимым в торфяных почвах является легкоминерализуемое органическое вещество. Так, снижение величины $C : N$ в целом характерно для сельскохозяйственных почв, однако в бореальных условиях оно наиболее проявлено в гидроморфных почвах, когда при осушении и освоении значительно повышается микробиологическая и ферментная активность почв. Происходят увеличение интенсивности процессов биогеохимического цикла и ускорение ритма почвообразования [2], что приводит к быстрой минерализации органического вещества торфяных почв. Скорость деструкции торфяников определяется климатическими условиями, составом торфа и характером использования почв [24]. Изученный нами массив торфяных почв однороден по составу торфа, находится в сходных климатических и гидротермических условиях, имеет схожий характер землепользования. Несмотря на это, наблюдаются существенные различия в степени деструкции верхних горизонтов, а также в содержании в них углерода и азота. Вариабельность значений изученных показателей для нарушенных торфяных горизонтов высокая, что отражает неоднородность искусственно сформированного почвенного покрова. Данные различия в строении и свойствах торфяных почв определяются в основном мероприятиями по их окультуриванию на этапе освоения [7–8], в частности количеством и составом внесенных минеральных компонентов.

Заключение

В зависимости от генезиса почв и состава почвообразующих пород антропогенная трансформация оказывает различное влияние на содержание основных биогенных элементов в верхних горизонтах почв Южной Карелии. Общей тенденцией при антропогенном влиянии являются увеличение мощности верхних органогенных горизонтов и повышение их рН (КС1). Это правило не распространяется на почвы на шунгитовых породах, где различия для почв в разных землепользованиях незначительны. Значения C:N в минеральных почвах в целом достаточно узкие и имеют близкие значения для разных землепользований. Исключение составляют лесные почвы на суглинках, имеющие повышенный гидроморфизм и слабую степень минерализации органического вещества, которая возрастает в почвах сельхозугодий. В холодных гумидных условиях Карелии при антропогенном воздействии в органогенных горизонтах почв подзолистого ряда существует тенденция увеличения содержания основных биогенных элементов. Для почв с торфяными горизонтами характерен противоположный процесс, когда при активном антропогенном воздействии в них значительно снижается содержание углерода и азота в верхних горизонтах, повышается степень минерализации торфа. Антропогенное воздействие не влияет на содержание валового фосфора в торфяных почвах. В шунгитовых почвах увеличение содержания основных биогенных элементов незначительно или не проявлено (нет статистически значимых отличий). Почвы на углеродсодержащих шунгитовых породах являются наиболее устойчивыми к антропогенным влияниям ввиду их высоких буферных способностей.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории экологии и географии почв ИБ КарНЦ РАН ведущему почвоведу Т.В. Богдановой, старшему биологу А.Г. Кашитановой, старшему биологу Л.И. Скороходовой и главному физику А.А. Хомиченко, за помощь в проведении аналитических исследований.

Литература

1. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск : Ойкумена, 2003. 268 с.
2. Муха В.Д. Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М. : КолосС, 2004. 271 с.
3. Караваева Н.А., Лебедева И.И., Скворцова Е.Б., Герасимова М.И. Генетическая концепция пахотных горизонтов и опыт их типизации // Почвоведение. 2003. № 12. С. 1413–1421.
4. Васильченко Н.И., Звягин Г.А. Проявление агрогенной трансформации в почвах сухостепной зоны Республики Казахстан // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 1 (29). С. 6–15. doi: [10.17223/19988591/29/1](https://doi.org/10.17223/19988591/29/1)
5. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М. : ГЕОС, 2010. 416 с.

6. Кечайкина И.О., Рюмин А.Г., Чуков С.Н. Постагрогенная трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1178–1193.
7. Дубровина И.А., Тонконогов В.Д. Корректировка содержания крупномасштабной почвенной карты с использованием новой классификации почв России // Почвоведение. 2008. № 11. С. 13–22.
8. Дубровина И.А. Почвенный покров Корзинской низины в новой классификации почв России // Экология и география почв / под ред. П.В. Красильникова. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2009. С. 91–105.
9. Канев В.В., Мокиев В.В. Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании (Республика Коми) // Почвоведение. 2008. № 3. С. 349–359.
10. Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe // Geoderma. 2013. № 192. PP. 189–201. doi: [10.1016/j.geoderma.2012.08.003](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.003).
11. Akujärvi A., Heikkinen J., Palosuo T., Liski J. Carbon budget of Finnish croplands – Effects of land use change from natural forest to cropland // Geoderma Regional. 2014. № 2–3. PP. 1–8. doi: [10.1016/j.geodrs.2014.09.003](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.09.003).
12. Sperow M. Estimating carbon sequestration potential on U.S. agricultural topsoils // Soil & Tillage Research. 2016. № 155. PP. 390–400. doi: [10.1016/j.still.2015.09.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.006).
13. Duran J., Morse J.L., Rodríguez A., Campbell J.L., Christenson L.M., Driscoll C.T., Fahey T.J., Fisk M.C., Mitchell M.J., Templer P.H., Groffman P.M. Differential sensitivity to climate change of C and N cycling processes across soil horizons in a northern hardwood forest // Soil Biology & Biochemistry. 2017. № 107. PP. 77–84. doi: [10.1016/j.soilbio.2016.12.028](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.028).
14. Batjes N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // European Journal of Soil Science. 1996. № 47. PP. 151–163.
15. Smith P. Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol // Soil Use & Management. 2004. № 20. PP. 264–270. doi: [10.1079/SUM2004239](https://doi.org/10.1079/SUM2004239).
16. Морозова Р.М., Федорев Н.Г. Земельные ресурсы Карелии и их охрана. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2004. 152 с.
17. Морозова Р.М., Федорев Н.Г., Бахмет О.Н. Почвы и почвенный покров Заонежья Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2004. Вып. 6. С. 69–89.
18. Агроклиматические ресурсы Карельской АССР / под ред. Г.И. Бугиновой. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 115 с.
19. Атлас Карельской АССР / под ред. А.Г. Дурова. М. : ГУГК СССР, 1989. 40 с.
20. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
21. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
22. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. № 4 (1). PP. 1–9.
23. Бахмет О.Н. Состав органического вещества и его запасы в почвах Карелии, сформировавшихся на коренных породах // Лесной вестник. 2015. Т. 19, № 2. С. 28–33.
24. Ефимов В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л. : Агропромиздат, 1986. 254 с.

*Поступила в редакцию 08.09.2017 г.; повторно 11.11.2017 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.*

Дубровина Инна Александровна – канд. с.-х. наук, с.н.с. лаборатории экологии и географии почв Института биологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11).
E-mail: vorgo@mail.ru

For citation: Dubrovina IA. Change in the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in the boreal soils of the Republic of Karelia when used in agriculture. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:27-41. doi: 10.17223/19988591/41/2. In Russian, English Summary

Inna A. Dubrovina

Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russian Federation

Change in the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in the boreal soils of the Republic of Karelia when used in agriculture

Recently, studies devoted to geochemical cycles of biogenic elements have been especially relevant in connection with global climate change. Since soil is the central link in biological cycle of substances, in many respects its condition determines the stability of terrestrial ecosystems. It is known that changes in land use lead to changes in carbon stocks and other nutrients in soils, therefore, monitoring of their content is required to implement effective control and management of soil resources. This paper presents the results of studying the effect of agricultural use on the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in the topsoil of soils of different genesis.

The studies were carried out in the Middle Taiga zone of Karelia (Eastern Fennoscandia) at four key sites (See Fig. 1). Soil profiles were located on farmlands and in the adjacent territories under forest. General sampling comprises 73 profiles. Samples were selected from the middle part of the topsoil. In thick horizons, a mixed sample was analyzed from a depth of 0-20 cm and 20 and > cm. In soil samples, the following parameters were analyzed: total nitrogen according to Kjeldahl, total phosphorus photometrically, total carbon by high-temperature catalytic combustion, and pH_{KCl} potentiometrically. For statistical analysis, the PAST Statistics software was used. Comparisons of mean values were performed using Student's t-test and one-way ANOVA with post-hoc analysis according to Tukey's HSD test.

It is known that the moderately cold and humid climate of Karelia and the predominance of forest vegetation foster the zonal podzolic process of soil formation and waterlogging. The soil cover is characterized by a complex structure, a high degree of patchiness and shallowness. To a large extent, the soil diversity of Karelia is due to differences in soil-forming rocks and strong relief roughness. Mineral soils of agricultural lands are mainly in relation to Quaternary sediments of the last glacial period. The profile structure and the properties of mineral soils depend, to a large extent, on the texture and origin of parent rocks. Soils on sands and sandy loams (Albic / Entic Umbric Podzols), on loams and clays (Umbric Retisols), and soils on schungites (Skeletal Umbrisols) were analyzed (See Table 1). The presented data suggest that anthropogenic transformation of mineral soils leads to significant changes in structure of the profile and properties of soils. The thickness of upper horizons increases from 5 to 25 cm, strongly acidic pH (3.7-3.9) rises to slightly acidic (5.1-5.3). The content of carbon, nitrogen and phosphorus significantly increases in soils on sands and sandy loams. Mineralization of organic matter intensifies, and the content of nitrogen and phosphorus also increases reliably in soils on loams and clays. Soils on schungite rocks are less susceptible to noticeable changes during agrottransformation. Peat soils represent drained farmlands with varying degrees of transformation of lowland peat (Drainic Eutric Histosols) (See Table 2). A part of these soils (Peat soils) has preserved an undisturbed natural structure of upper horizons with a strongly acidic pH (4.3), a

high content of carbon (48%) and nitrogen (1.6%) and weak decomposition of organic matter. Soils with a highly disturbed topsoil (Torfozems) have an elevated pH (5.0), a lower content of carbon ($p < 0.001$), nitrogen ($p < 0.005$) and a C:N ratio ($p < 0.01$) compared to peat soils. Peat-mineral soils with peat thickness < 50 cm (Histic Gleysols) have a highly disturbed topsoil with pH 4.9 and a lower content of carbon ($p < 0.001$) and nitrogen ($p < 0.005$) than peat soils.

Thus, in cold humid conditions of Karelia under anthropogenic influence in topsoils of Al-Fe-humus and texturally-differentiated soils, there is a tendency to increasing the content of the main biogenic elements. In soils with peat horizons, the opposite process dominates when an active human impact reduces greatly the content of carbon and nitrogen in the topsoil and generally increases the degree of peat mineralization. Anthropogenic influence does not affect the content of total phosphorus in peat soils. Soils on schungite rocks are most resistant to anthropogenic influences where an increase in the content of the main biogenic elements is insignificant (no statistically significant differences).

The paper contains 1 Figure, 2 Tables and 24 References.

Key words: topsoil; farmlands; biogenic elements; Podzols; Retisols; Umbrisols; Histosols.

Funding: This work was supported by the state projects No 0221-2017-0047.

Acknowledgments: The author is grateful to the staff of the Laboratory of Ecology and Geography of Soils, Institute of Biology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (IB KarRC RAS) TV Bogdanova, AG Kashtanova, LI Skorokhodova and AA Khomichenko for assistance in analytical studies.

References

1. Gerasimova MI, Stroganova MN, Mozharova NV, Prokof'eva TV. Antropogennyye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivatsiya [Anthropogenic soils: genesis, geography and reclamation]. Dobrovol'skiy GV, editor. Smolensk: Oykumena Publ.; 2003. 268 p. In Russian
2. Moukha VD. Estestvenno-antropogennaya evolyutsiya pochv (obshchie zakonomernosti i zonal'nye osobennosti) [Natural and anthropogenic evolution of soils (general laws and zonal peculiarities)]. Moscow: KolosS Publ.; 2004. 271 p. In Russian
3. Karavaeva NA, Lebedeva II, Skvortsova EB, Gerasimova MI. Genetic concept of plow horizons and an experience in their typification. *Eurasian Soil Science*. 2003;36(12):1261-1268.
4. Vasil'chenko NI, Zvyagin GA. Agrogonic transformation of soils in the dry steppe zone of the Republic of Kazakhstan. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;1(29):6-15. In Russian, English Summary. doi: [10.17223/19988591/29/1](https://doi.org/10.17223/19988591/29/1)
5. Lyuri DI, Goryachkin SV, Karavaeva NA, Denisenko EA, Nefedova TG. Dinamika sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [Dynamics of agricultural lands of Russia in the XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soils]. Moscow: GEOS Publ.; 2010. 416 p. In Russian
6. Kechaikina IO, Ryumin AG, Chukov SN. Postagrogenic transformation of organic matter in soddy-podzolic soils. *Eurasian Soil Science*. 2011;44(10):1077-1089. doi: [10.1134/S1064229311100061](https://doi.org/10.1134/S1064229311100061)
7. Dubrovina IA, Tonkonogov VD. Correction of a large-scale soil map with the use of the new classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2008;41(11):1148-1155. doi: [10.1134/S1064229308110021](https://doi.org/10.1134/S1064229308110021)

8. Dubrovina IA. Pochvennyy pokrov Korzinskoy niziny v novoy klassifikatsii pochv Rossii [Soil cover of the Korzinskaya lowland in the new Russian soil classification]. In: *Ekologiya i geografiya pochv* [Ecology and geography of soils]. Krasil'nikov PV, editor. Petrozavodsk: KarRC of RAS Publ.; 2009. pp. 91-105. In Russian
9. Kanev VV, Mokiev VV. Transformation of properties of podzolic soils under development and cultivation in the middle taiga subzone (Komi Republic). *Eurasian Soil Science*. 2008;41(3):312-321. doi: [10.1007/s11475-008-3009-7](https://doi.org/10.1007/s11475-008-3009-7)
10. Poeplau C, Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*. 2013;192:189-201. doi: [10.1016/j.geoderma.2012.08.003](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.003)
11. Akujärvi A, Heikkinen J, Palosuo T, Liski J. Carbon budget of Finnish croplands - Effects of land use change from natural forest to cropland. *Geoderma Regional*. 2014;2-3:1-8. doi: [10.1016/j.geodrs.2014.09.003](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.09.003)
12. Sperow M. Estimating carbon sequestration potential on U.S. agricultural topsoils. *Soil & Tillage Research*. 2016;155:390-400. doi: [10.1016/j.still.2015.09.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.006)
13. Duran J, Morse JL, Rodríguez A, Campbell JL, Christenson LM, Driscoll CT, Fahey TJ, Fisk MC, Mitchell MJ, Templer PH, Groffman PM. Differential sensitivity to climate change of C and N cycling processes across soil horizons in a northern hardwood forest. *Soil Biology & Biochemistry*. 2017;107:77-84. doi: [10.1016/j.soilbio.2016.12.028](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.028)
14. Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 1996;47:151-163. doi: [10.1111/ejss.12114_2](https://doi.org/10.1111/ejss.12114_2)
15. Smith P. Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use & Management*. 2004;20:264-270. doi: [10.1111/j.1475-2743.2004.tb00367.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00367.x)
16. Morozova RM, Fedorets NG. Zemel'nye resursy Karelii i ikh okhrana [Land resources of Karelia and their protection]. Petrozavodsk: KarRC of RAS Publ.; 2004. 152 p. In Russian
17. Fedorets NG, Morozova RM, Bakhmet ON. Soils and soil cover of Karelian Zaonezhje. *Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2004;6:69-89. In Russian
18. *Agroklimaticheskie resursy Karel'skoy ASSR* [Agroclimatic resources of the Karelian ASSR]. Buginova GI, editor. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1974. 115 p. In Russian
19. *Atlas Karel'skoy ASSR* [Atlas of the Karelian ASSR]. Durov AG, editor. Moscow: GUGK SSSR Publ.; 1989. 40 p. In Russian
20. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
21. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of soil chemical analysis]. Vorob'eva LA, editor. Moscow: GEOS Publ.; 2006. 400 p. In Russian
22. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9.
23. Bakhmet ON. Organic matter composition and stock in soils over different types of bedrock in Karelia. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*. 2015;19(2):28-33. In Russian, English Summary
24. Efimov VN. Torfyanye pochvy i ikh plodorodie [Peat soils and their fertility]. Leningrad: Agropromizdat Publ.; 1986. 254 p. In Russian

Received 08 September 2017; Revised 11 November 2017;

Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018

Author info:

Dubrovina Inna A, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Laboratory of Ecology and Geography of Soils, Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 11 Pushkinskatya Str., Petrozavodsk 185910, Russian Federation.

E-mail: vorgo@mail.ru

БОТАНИКА

УДК 587.536-114

doi: 10.17223/19988591/41/3

Т.С. Боровик, А.С. Ревушкин

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия*

Особенности онтогенеза и возрастной структуры популяции *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev в Горном Алтае

Dasystephana macrophylla (Pallas) Zuev – североазиатский вид с центром ареала в горах Южной Сибири, где он встречается преимущественно в лесостепных и перистепных ландшафтах. Исследованы и описаны 4 периода и 9 онтогенетических состояний *D. macrophylla*; состояния изучались на участке злаково-разнотравного луга в северной части Семинского хребта между с. Шибалино и с. Кумалыр. Установлено, что в ценопопуляции присутствуют все возрастные состояния, начиная от семян и проростков до сенильных особей. Выявлены отличительные черты возрастных состояний. Охарактеризованы морфологические особенности возрастных состояний. Определена возрастная структура популяции. Ценопопуляция отличается высокой численностью, стабильной онтогенетической структурой.

Ключевые слова: *Gentianaceae*; *Dasystephana macrophylla*; возрастные состояния; онтогенез; структура ценопопуляции.

Введение

Семейство Горечавковые (*Gentianaceae*) насчитывает около 87 родов и более 1 615 видов, распространенных в Европе, Азии, Северной и Южной Америке [1]. В Сибири встречается 11 родов этого семейства, включающих 44 вида. Род *Gentiana* L. широко распространен преимущественно в умеренных, арктических и альпийских регионах Северного полушария [2]. Во «Флоре Сибири» В.В. Зуевым часть видов рода *Gentiana* L. s.l. выделена в род *Dasystephana* Adanson (Сокольница), включающий 12 видов [3–4]. Сокольница крупнолистная (*Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev) – один из представителей данного рода. Вид представляет интерес в качестве лекарственного растения. Фармакологические свойства обусловлены содержанием таких биологически активных веществ, как иридоиды (гентиопикрозид, сверциомарин, амарогентин), ксантоны (мангиферин, гентизин), флавоно-

иды (изоориентин, изовитексин), кумарины, тритерпеноиды, дубильные вещества, алкалоиды [5–10]. В традиционной европейской медицине используют горечавку желтую (*G. lutea* L.), корни которой содержат горечи и применяют для улучшения аппетита [11], тогда как в Азии популярны сокольница шероховатая (*D. scabra* (Bunge) Zuev), сокольница трехцветковая (*D. triflora* (Pallas) Borkh) и сокольница крупнолистная (*D. macrophylla*) [12]. Эти виды включены в Фармакопею КНР [13]. В китайской традиционной медицине *D. macrophylla* применяют на протяжении двух тысяч лет, в лечебных целях используют корни и корневища, которые богаты гентиопикрозидом, обладают противовоспалительным и противоревматоидным действием, настой используют при лечении гепатита, стоматита и при заболевании желудочно-кишечного тракта, успешно применяют при лечении сердечно-сосудистых заболеваний, отвар корней проявляет диуретическое действие при нефрите [14–17]. Тибетская медицина рекомендует цветки и траву сокольницы крупнолистной при болезнях горла и легких, желудка, кишечника, желчного пузыря и матки, а также для лечения рака [18]. В Монголии используют цветки *D. macrophylla* при лихорадке как жаропонижающее [19].

Для успешного проведения опытов по интродукции горечавки крупнолистной необходимо изучение ее онтогенеза.

Цель работы – изучить эколого-ценотическую приуроченность, распространение, выделить и описать возрастные состояния, а также изучить структуру популяции *Dasystephana macrophylla* в Центральном Алтае с прогнозированием тенденции ее развития.

Материалы и методики исследования

Наблюдения горечавки крупнолистной проведены в течение 2015–2016 гг. Для изучения возрастных состояний выбран участок злаково-разнотравного луга в северной части Семинского хребта между с. Шебалино и с. Кумалыр (51°17'N, 85°40'E), в котором *D. macrophylla* имеет наибольшее обилие и хорошее развитие по сравнению с популяциями вида в луговых степях, парковых и лиственных лесах Центрального Алтая. Для изучения возрастной структуры на каждом из исследованных участков закладывали трансекты с разделением на площадки размером 1 м², на которых проводили сплошной учет растений (всего заложено 30 площадок). На каждой площадке проводили учет особей данного вида с распределением по возрастным состояниям. Для оценки интенсивности самоподдержания популяции рассчитывали индексы генеративности, старения и общей возрастности популяции по И.Н. Коваленко, по которым оценивается доля каждой онтогенетической когорты по отношению к общей численности популяции [20]. Данные индексы позволяют достаточно точно охарактеризовать общее состояние популяции и особенно удобны для сравнительного анализа популяций одного и того же вида растений при произрастании в разных эколого-

ценогических условиях. Изменчивость онтогенетического спектра ценопопуляции (ЦП) оценивали с помощью индекса возрастности (Δ) по А.А. Уранову [21]. Индекс возрастности оценивает уровень ЦП. Он изменяется от 0 до 1, и чем он выше, тем старше данная ЦП. Нами определен индекс эффективности (ω) по Л.А. Животовскому. Индекс эффективности рассматривается как энергетическая нагрузка на среду [22]. Онтогенетические состояния описывали, основываясь на классификации Т.А. Работнова, в дальнейшем дополненной А.А. Урановым [23]. Часть особей выкапывали с подземными органами для определения жизненных форм и характеристики онтогенетических состояний.

Результаты исследования и обсуждение

Популяция *D. macrophylla* расположена на северо-западном пологом склоне на остепненном лугу. Почва черноземовидная. В верхней части склона луг ограничен парковым злаково-разнотравным листовничником, в нижней – ивово-березовым разнотравным лесом по берегам р. Семы. Средняя высота травостоя в 2016 г. – 35 см, что значительно больше, чем в сухом 2015 г. Проективное покрытие – 95%, из злаков преобладают *Koeleria delavignei* Czern. ex Domin, *Festuca pratensis* Huds., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Dactylis glomerata* L., *Poa sibirica* Roshev., в разнотравье наибольшее обилие проявляет *Iris ruthenica* Ker Gawl. s. str., *Phlomooides tuberosa* (L.) Moench, *Bupleurum multinerve* DC., *Saussurea controversa* DC., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Galium verum* L., *Achillea millefolium* L., *Ligularia glauca* (L.) Hoffm., *Tragopogon orientalis* L., *Carex pediformis* С.А. Mey., *Geranium pratense* L., *Aconogon alpinum* (All.) Schur.

D. macrophylla – североазиатский вид с центром ареала в горах Южной Сибири, где он встречается преимущественно в лесостепных и перистепных ландшафтах. На юго-востоке Западной Сибири этот вид проникает на равнинную территорию в лесостепной зоне. На востоке он доходит до Приморья, изредка встречаясь в западных районах Дальнего Востока. На юге *D. macrophylla* по верхним уровням гор заходит в пограничные с Сибирью районы Монголии. Таким образом, этот лесостепной вид в голоцене, вероятно, активно расселялся по прилегающим к Южной Сибири районам. В то же время в XX в. в связи с усиливающейся антропогенной нагрузкой *D. macrophylla* сокращает распространение и встречается значительно реже. *D. macrophylla* наиболее часто произрастает на остепненных лугах и в луговых степях, являясь характерным для этих сообществ видом. В центральных районах Алтая-Саянской области *D. macrophylla* встречается в парковых листовничных и березово-лиственничных лесах. В северных районах гор Южной Сибири этот вид изредка можно увидеть на опушках и под пологом разреженных сосновых и березовых лесов. В экологическом спектре ценокомплекса преобладают мезофиты и ксеромезофиты, роль ксерофитов и мезоксерофитов снижена. Значительную роль играют виды разнотравья, преобладающие над злаками.

D. macrophylla – многолетний летнезеленый травянистый стержнекорневой моноподиально нарастающий поликарпик с розеточным полегающим побегом, относится к мезофитам [24]. В изучаемой популяции обнаружены все возрастные состояния *D. macrophylla* от семян и проростков до сенильных особей.

Латентный период

Возобновление осуществляется только семенным путем. Семена (*se*) коричневые, блестящие, бескрылые, очень мелкие, 0,5–1 мм. Они созревают в конце июля, в начале августа. Семена в основном опадают вблизи растения, но могут быть отнесены на некоторое расстояние ветром. В зависимости от условий они прорастают на следующий год, могут сохраняться в почве и прорасти через несколько лет. Плод – продолговатая, заостренная, многосемянная коробочка.

Прегенеративный период

Проростки (*p*) в природных условиях появляются весной после схода снега. Основная масса прорастает в середине мая, но в зависимости от погодных условий, увлажнения и прогревания почвы процесс может начинаться в конце апреля – начале мая. Проростки имеют укороченный стебель с двумя овальными светло-зелеными семядольными листьями с одной средней жилкой и верхушечной почкой. Корневая система представлена выраженным главным корнем.

Ювенильное состояние (*j*). Растения с одним розеточным побегом 1,5–2,3 см высотой с 3–5 овально-эллиптическими листьями и верхушечной почкой. Листовая пластинка с 2 или 3 жилками. Корневая система представлена хорошо выраженным главным корнем, который слабо ветвится.

Имматурное состояние (*im*). Растения представлены розеточным побегом, достигающим высоты 3,2–4,0 см, на котором находится до 3 пар крупных листьев. Длина листовой пластинки достигает 15–18 см, ширина 1,0–2,5 см. Листья ланцетной формы с 3–4 жилками. Образуется эпигеогенное корневище диаметром до 0,5 см. Сохраняются система главного корня и система придаточных корней. Главный корень изогнутый.

Растения в *виргинильном состоянии* (*v*) характеризуются появлением основных черт взрослого растения. Вегетация начинается весной во время устойчивого потепления. На побеге из перезимовавших верхушечных почек образуются новые вегетативные побеги. Листья ланцетные с 5 жилками (длина листовой пластинки 19–23 см, ширина 1,7–3,4 см). Корневище диаметром 0,7–1,2 см, число придаточных корней увеличивается. Главный корень сохраняется. Его партикуляция начинается снизу, при этом образуется 4–6 шнуровидных участка.

Генеративный период

У молодых генеративных растений (*g₁*) розеточный побег достигает 6–10 см высоты, с 5 парами листьев. Большая часть листьев сосредоточена у основания стебля, листья с 3–5 жилками (длина листовой пластинки 18–25 см, ширина – 2,2–4,3 см). Генеративный побег один (длина 25–30 см), на

нем расположено по 3–5 пар листьев (длина 5,4–11,8 см, ширина 1,4–2,3 см), в пазухах верхних листьев формируется от 2 до 6 цветков, собранных в 1–3 мутовках. Цветки расположены симметрично. Начало цветения приходится на конец июня – начало июля, соцветия в ярко синими, сине-фиолетовыми цветками.

Временно не цветущее генеративное растение (g_v) по морфологическим признакам схоже с виргинильным. Возрастное состояние наступает в пределах g_1 и g_2 или после их прохождения и может быть вызвано рядом причин: интенсивным плодоношением в предыдущем году, неблагоприятными погодными условиями прошлого года и в сроки закладки генеративных органов и др.

Средневозрастное генеративное растение (g_2) характеризуется наибольшей мощностью. Оно формирует 2–3 слегка приподнимающихся вегетативных побега диаметром 3–6 мм, высотой до 7 см. В основании вегетативного побега расположено по 5–7 пар листьев, самые нижние – с небольшой пластинкой (длина 15 см, ширина 1,5–2 см), следующие – крупные, длиной от 29 до 40 см и 1,7–4,5 см шириной, листья ланцетной формы с 3–5 жилками. Генеративных побегов 2–3 (высотой 35–40 см), в их верхней части располагается 9–15 цветков, а также в пазухах нижних листьев расположено по 2–6 цветков. Корневище толстое, с многочисленными шнуровидными корнями.

Старое генеративное растение (g_3) характеризуются уменьшением размеров. Основание стебля окутано множеством старых листьев. Число листьев сокращается до 8–10 (длина листовой пластинки 16–22 см, ширина 2,0–3,5 см). Количество генеративных побегов сокращается, наблюдаются усыхающие листья и генеративные побеги.

Постгенеративный период

Субсенильное растение (ss) имеет сходство с ювенильным состоянием, число листьев сокращается до 6. Корневище разрушается, его диаметр – 2,0–3,6 см. Придаточные корни старые, темные, немногочисленные.

Сенильное растение (s) со слабым побегом с 2–4 листьями. Корневище темное, разрушенное. Главный корень почти полностью разрушен (рис. 1).



Рис. 1. Онтогенез *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev

[Fig. 1. Ontogenesis of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev]:

se – семя [seed], *p* – проросток [germination], *j* – ювенильное растение [juvenile plant], *im* – имматурное растение [immature plant], *v* – виргинильное растение [virgin plant], *g₁* – молодое генеративное растение [young generative plant], *g₂* – средневозрастное генеративное растение [middle-generative plant], *g₃* – старое генеративное растение [old generative plant], *ss* – субсенильное растение [subsenile plant], *s* – сенильное растение [senile plant]

В популяции у горечавки крупнолистной выявлено 4 периода и 10 онтогенетических состояний (рис. 2).

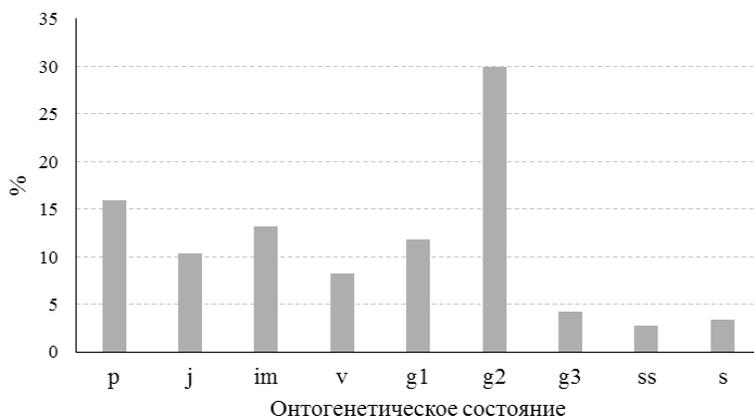


Рис. 2. Онтогенетические спектры ценопопуляции *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev.

По оси X – онтогенетическое состояние, по оси Y – число особей данного онтогенетического состояния в процентах
 [Fig. 2. Ontogenetic spectra of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev coenopopulation. On the X axis - Ontogenetic state; on the Y axis - Number of individuals in percentage]

Анализ возрастной структуры показал, что максимум растений в популяции приходится на средневозрастное генеративное состояние – 29,9% от общей численности популяции. Небольшое количество сенильных растений обусловлено значительной продолжительностью жизни растений в генеративном возрастном состоянии. Популяцию Шебалинского района можно отнести к полноценному типу. Возрастной спектр этого типа свойствен популяции, способной к самоподдержанию и самовоспроизведению.

Важные особенности популяции выявили при количественной оценке их индексов возобновляемости, генеративности, старения и общей возрастности (таблица).

Характеристики популяции *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev
 [Characteristics of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev population]

Индексы по И.Н. Коваленко [Indices according to IN Kovalenko]				Индекс по А.А. Уранову [Index according to AA Uranov]	Индекс по Л.А. Животовскому [Index according to LA Zhivotovskiy]	Тип популяции по классификации «дельта-омега» [Type of population according to the “delta-omega” classification]
$I_{\text{возобновляемости}}$ [$I_{\text{renewability}}$], %	$I_{\text{генеративности}}$ [$I_{\text{generativity}}$], %	$I_{\text{старения}}$ [I_{senility}], %	$I_{\text{возрастности}}$ [I_{age}]	Δ	ω	
48	39	10,4	0,23	0,29	0,48	Молодая [Young]

По классификации «дельта-омега» популяция *D. macrophylla* относится к молодой, так как ее индексы входят в амплитуду значений $\Delta < 0,35$, $\omega < 0,60$. Индекс старения довольно низкий, что также указывает на то, что популяция молодая. Высокое значение индекса возобновляемости свидетельствует о том, что популяция хорошо возобновляется. В популяции *D. macrophylla* наибольшее количество особей приходится на генеративное возрастное состояние, индекс генеративности довольно высокий.

Заключение

В онтогенезе *D. macrophylla* выявили 4 периода и 9 возрастных состояний. В прегенеративном периоде выделили 4 возрастных состояния. Основные черты взрослого растения проявляются в виргинильном состоянии. В популяции максимум растений приходится на средневозрастное генеративное состояние, которое характеризуется наибольшей мощностью. Старое генеративное растение можно определить по уменьшению размеров и числа листьев. В постгенеративном периоде выделили два возрастных состояния. Субсенильное состояние: растения имеют сходство с ювенильным, отличие в корневище, оно разрушается. В сенильном состоянии растения со слабым побегом, количество листьев уменьшается до 3. Различия возрастных состояний у *D. macrophylla* проявляется в количестве, длине и ширине листьев, по числу генеративных побегов и цветков в соцветии. По классификации «дельта-омега» популяция *D. macrophylla* относится к молодой.

Литература

1. Benere M.C., Raina R. *Gentiana kurroo* Royle – A critically endangered bitter herb // Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences. 2012. Vol. 2, № 1. PP. 22–29.
2. Сунь Я., Гончаров А.А., Царенко Н.А., Тянь Я. К изучению морфологии семян видов рода *Gentiana* L. (Gentianaceae), произрастающих в приморском крае // Вестник КрасГАУ. 2015. № 7. С. 158–163.
3. Зуев В.В. Семейство Gentianaceae – Горечавковые // Флора Сибири. Новосибирск : Наука, 1997. Т. 11. С. 56–85.
4. Доронькин В.М. Семейство Gentianaceae – Горечавковые // Конспект Флоры Сибири. Новосибирск : Наука, 2005. С. 179–176.
5. Niu X., Chen X., Su H. Changes of secondary metabolites and trace elements in *Gentiana macrophylla* flowers: A potential medicinal plant part // Chinese Herbal Medicines. 2014. № 6. PP. 145–151. doi: [10.1016/S1674-6384\(14\)60023-X](https://doi.org/10.1016/S1674-6384(14)60023-X).
6. Mirzaee F., Hosseini A., Jouybari H.B., Davoodi A., Azadbakht M. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species // Journal of Traditional and Complementary Medicine. 2017. Vol. 7, № 4. PP. 400–408. doi: [10.1016/S1674-6384\(14\)60023-X](https://doi.org/10.1016/S1674-6384(14)60023-X).
7. Танхаева Л.М., Аненхонов О.А., Оленников Д.Н. γ -пироновые соединения растений семейства горечавковые (Gentianaceae) и вопросы их хемотаксономии // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 26–27.
8. Ni L., Zhao Z., Xu H., Chen S., Dorje G. The complete chloroplast genome of *Gentiana straminea* (Gentianaceae), an endemic species to the Sino-Himalayan subregion // Gene. 2016. Vol. 577, № 2. PP. 281–288. doi: [10.1016/j.gene.2015.12.005](https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.12.005).

9. Глызин В.И., Николаева Г.Г., Даргаева Т.Д. Природные ксантоны. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1986. 173 с.
10. Тихонова Л.А., Комиссаренко Н.Ф., Березовская Т.П. Флавоновые С-гликозиды из *Gentiana macrophylla* // Химия природных соединений. 1989. № 2. С. 287–288.
11. Mustafa A.M., Caprioli G., Ricciutelli M., Maggi F., Marin R., Vittori S., Sagratini G. Comparative HPLC/ESI-MS and HPLC/DAD study of different populations of cultivated, wild and commercial *Gentiana lutea* L. // Food Chemistry. 2015. Vol. 174. PP. 426–433. doi.: [10.1016/j.foodchem.2014.11.089](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.089).
12. Юй Л., Ли С., Сунь Я. Число хромосом и гибридизация горечавки шероховатой (*Gentiana scabra* Bunge) и горечавки трехцветковой (*Gentiana triflora* Pall.) на юге приморского края России // Вестник КрасГАУ. 2016. № 4. С. 95–101.
13. Pharmacopoeia of the people's Republic of China. China: People's medical Publishing house, 2005. Vol. 1, Pt. 2. 975 p.
14. Тожибоев М.М., Ботиров Э.Х., Усманова Г.А. Ксантоны и флавоноиды *Gentiana aldiga* Pall. // Химия растительного сырья. 2010. № 3. С. 129–133.
15. Yin H., Zhao Q., Sun F.-M., An T. Gentiopicrocin-producing endophytic fungus isolated from *Gentiana macrophylla* // Phytomedicine. 2009. Vol. 16, № 8. PP. 793. doi: [10.1016/j.phymed.2008.12.009](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2008.12.009)
16. Чжан Х.Л., Сюэ Ш.Х., Пу Ф. Выявление линий бородачатых корней и анализ гентиопикрозида в лекарственных растениях *Gentiana macrophylla* // Физиология растений. 2010. Т. 57, № 1. С. 117–124.
17. Сунь Янь, Царенко Н.А. Влияние гиббереллина на прорастание семян у двух видов горечавок Дальнего Востока России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2008. № 4. С. 83–85.
18. Тожибоев М.М., Ботиров Э.Х., Усманова Г.А. Фитохимическое исследование ксантонов и флавоноидов *Gentiana karelinii* // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 127–130.
19. Jia N., Li Y., Wu Y. Comparison of the anti-inflammatory and analgesic effects of *Gentiana macrophylla* Pall. and *Gentiana straminea* Maxim., and identification of their active constituents // Journal of Ethnopharmacology. 2012. Vol. 144, № 3. PP. 638–645. doi: [10.1016/j.jep.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.10.004)
20. Коваленко І.М. Структура популяцій вегетативно-рухомих рослин в лісових екосистемах // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Сер. 20, Біологія. 2016. Вип. 6. С. 97–104.
21. Тетерюк Л.В., Денева С.В., Бобров Ю.А., Рябинина М.Л., Мифтахова С.А. Характеристика популяции *Pentaphylloides fruticosae* (Rosaceae) в бассейне р. Лемва (приполярный Урал) // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49, № 4. С. 498–512.
22. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.
22. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
23. Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды Ботанического института АН СССР. Сер. 3? Геоботаника. 1950. Вып. 6. С. 7–204.
24. Серебрякова Т.И. Модели побегообразования и некоторые пути эволюции в роде *Gentiana* L. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1979. Т. 84, вып. 6. С. 97–108.

Авторский коллектив:

Боровик Тамара Степановна – аспирант кафедры ботаники Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36).
E-mail: tamaraborovik11@mail.ru

Ревушкин Александр Сергеевич – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой ботаники Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36).

E-mail: ppu@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 22.06.2017 г.; повторно 24.09.2017 г.; 20.02.2018 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

For citation: Borovik TS, Revushkin AS. Ontogenesis and age structure characteristics of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev populations in the Altai Mountains. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;41:42-52. doi: 10.17223/19988591/41/3 In Russian, English Summary

Tamara S. Borovik, Aleksandr S. Revushkin

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Ontogenesis and age structure characteristics of *Dasystephana macrophylla* (Pallas) Zuev populations in the Altai Mountains

Dasystephana macrophylla (Pallas) Zuev is one of the species of the gentian family (Gentianaceae). *D. macrophylla* is a summergreen herbaceous taprooted monopodially growing polycarpic with rosellate lodging shoot which belongs to mesophytes. We conducted observations in 2015-2016 and determined a plot of motely-grass meadow in the northern part of the Seminskiy Ridge between Shebalino village and Kumalyr village (51°17' N, 85°40' E) for studying. *D. macrophylla* is more abundant and has good development compared with other populations of steppes and wood meadow larch forests of the Central Altai. *D. macrophylla* population is located in the north-west gentle slope of the steppe meadow. The soil is chernozem-like. The upper part of the slope is limited by a park-like motely-grass larch forest; the lower part is by a willow birch forb forest along the banks of the Sema river. The average height of the grass stand in 2016 was 35 cm, which is far greater than in dry 2015. The projective coverage was 95%. In order to assess the intensity of self-renewal of the population, we calculated the indices of generativity, aging and general age according to IN Kovalenko (2016). The variability of the ontogenetic spectrum of the coenopopulation was estimated using the age index (Δ) according to AA Uranov (1975). We determined the efficiency index (ω) according to LA Zhivotovskiy (2001). The ontogenetic states were described, based on the classification of TA Rabotnov (1950) which was later completed by AA Uranov.

We found all age states of *D. macrophylla* from seeds and sprouts to senile individuals in the examined population (See Fig. 1). Four periods and ten ontogenetic states were detected in the population (See Fig. 2). Reproduction is accomplished only by seeds. Seeds are brown, shiny, exalate, and very small - 0.5-1 mm. Four age states were identified in the pre-regenerative period. The main features of an adult plant are manifested in the virgin condition. The leaves are lanceolate with 5 veins (the length of the leaf blade is 19-23 cm, the width is 1.7-3.4 cm). The rhizome is 0.7-1.2 cm in diameter, the number of secondary roots increases. The main root is preserved. Its particulation starts from the bottom, thus forming 4-6 cord-like areas. In the generative period three age-related states were identified. The rosellate shoot of young generative plants reaches 6-10 cm in height, with 5 pairs of basal leaves. Most of the leaves are concentrated at the base of the stem and one generative shoot with 2-9 flowers collected in 1-3 whorls. A middle-aged generative plant is characterized by the greatest capacity. An old generative plant is characterized by a decrease in the size. The base of the

stem is surrounded by a multitude of old leaves. We distinguished two age conditions in the post-generative period: subsenile (plants are similar to juvenile with only one difference in the rhizome which is deteriorating) and senile (plants have weak shoots with 2-4 leaves; the rhizome is dark and deteriorated).

According to the “delta-omega” classification, *D. macrophylla* population is considered young since its indices are the following: $\Delta < 0.35$ and $\omega < 0.60$ (See Table). The index of aging is quite low which points out that the population is young. High renewability index values demonstrate that the population is well reproducing. Most individuals of *D. macrophylla* population are in the generative age state with a rather high generative index.

The paper contains 2 Figures, 1 Table and 24 References.

Key words: Gentianaceae; *Dasystephana macrophylla*; age states; ontogenesis; structure of the coenopopulation.

References

1. Benere MC, Raina R. *Gentiana kurroo* Royle - A critically endangered bitter herb. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*. 2012;2(1):22-29.
2. Sun Y, Goncharov AA, Tsarenko NA, Tian Y. Contribution to studies on seed morphology of *Gentiana* L. (Gentianaceae) genus species growing in Primorsky krai. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2015;7:158-163. In Russian
3. Zuev VV. Semeystvo Gentianaceae – Gorechavkovye [The family Gentianaceae]. In: *Flora Sibiri* [Flora of Siberia]. Vol. 11. Malyshev LI, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1997. pp. 56-85. In Russian
4. Doron'kin VM. Semeystvo Gentianaceae – Gorechavkovye [The family Gentianaceae]. In: *Konspekt Flory Sibiri: sosydistie rasteniya* [Synopsis of Siberian Flora: Vascular plants]. Baykov KS, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2005. pp. 179-176. In Russian
5. Niu X, Chen X, Su H. Changes of secondary metabolites and trace elements in *Gentiana macrophylla* flowers: A potential medicinal plant part. *Chinese Herbal Medicines*. 2014;6:145-151. doi: [10.1016/S1674-6384\(14\)60023-X](https://doi.org/10.1016/S1674-6384(14)60023-X)
6. Mirzaee F, Hosseini A, Jouybari HB. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 2017;7(4):1-9. doi: [10.1016/j.jtcm.2016.12.013](https://doi.org/10.1016/j.jtcm.2016.12.013)
7. Tankhaeva LM, Anenkhonov OA, Olennikov DN. γ -Pironovye soedineniya rasteniy semeystva Gorechavkovye (Gentianaceae) i voprosy ikh khemotaksonomii [γ -Pyron compounds of Gentianaceae plants and their chemotaxonomy]. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2012;1:21-30. In Russian
8. Ni L, Zhao Z, Xu H. The complete chloroplast genome of *Gentiana straminea* (Gentianaceae), an endemic species to the Sino-Himalayan subregion. *Gene*. 2016;577(2):281-288. doi: [10.1016/j.gene.2015.12.005](https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.12.005)
9. Glyzin VI, Nikolaeva GG, Dargaeva TD. Prirodnye ksantony [Natural xanthones]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1986. 173 p. In Russian
10. Tikhonova LA, Komissarenko NF, Berezovskaya TP. Flavonovye C-glikozidy iz *Gentiana macrophylla* [Flavone C-glycosides from *Gentiana macrophylla*]. *Khimiya prirodnykh soedineniy = Chemistry of Natural Compounds*. 1989;2:287-288. In Russian
11. Mustafa AM, Caprioli G, Ricciutelli M. Comparative HPLC/ESI-MS and HPLC/DAD study of different populations of cultivated, wild and commercial *Gentiana lutea* L. *Food Chemistry*. 2015;174:426-433. doi: [10.1016/j.foodchem.2014.11.089](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.089)
12. Yu Lijie, Li Xinxin, Sun Yen. Chromosome number and hybridization of rough gentian (*Gentiana scabra* Bunge) and three flowered gentian (*Gentiana triflora* Pall.) in the south of

- Primorsky region (Russia). *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2016;4(115):95-101. In Russian
13. Pharmacopoeia of the people's Republic of China. China: People's medical Publishing house, 2005. Vol. 1, Pat. 2. 975 p.
 14. Tozhiboev MM, Botirov EK, Usmanova GA. Ksantony i flavonoidy *Gentiana aldiga* Pall. [Xanthones and flavonoids *Gentiana aldiga*]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2010;3:129-133. In Russian
 15. Yin H, Zhao Q, Sun F-M, An T. Gentiopirin-producing endophytic fungus isolated from *Gentiana macrophylla*. *Phytomedicine*. 2009;16(8):793. doi: [10.1016/j.phymed.2008.12.009](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2008.12.009)
 16. Zhang HL, Xue SH, Pu F, Tiwari RK, Wang XY. Establishment of hairy root lines and analysis of gentiopicroside in the medicinal plant *Gentiana macrophylla*. *Russ J Plant Physiol*. 2010;57(1):110-117. doi: <https://doi.org/10.1134/S1021443710010152>
 17. Sun Y, Tsarenko NA. The effects of gibberellin for seed in two *Gentiana* species in the Russian Far East. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. 2008;4:83-85. In Russian
 18. Tozhiboev MM, Botirov EK, Usmanova GA. Fitokhimicheskoe issledovanie ksantonov i flavonoidov *Gentiana karelinii* [Phytochemical study of xanthones and flavonoids *Gentiana karelinii*]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2010;1:127-130. In Russian
 19. Jia N, Li Y, Wu Y. Comparison of the anti-inflammatory and analgesic effects of *Gentiana macrophylla* Pall. and *Gentiana straminea* Maxim., and identification of their active constituents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2012;144(3):638-645. doi: [10.1016/j.jep.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.10.004)
 20. Kovalenko IM. Structure of vegetative motile plants population in forest ecosystems. *Naukoviy chasopis Natsional'nogo pedagogichnogo universitetu imeni MP Dragomanova. Seriya 20. Biologiya*. 2016;6:97-104 in Ukrainian
 21. Uranov AA. Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsii kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov [Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and power wave processes]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki* [Scientific Essays of Higher Education. Biological Sciences]. 1975;2:7-34. In Russian
 22. Zhivotovskiy LA. Ontogeneticheskoe sostoyanie, effektivnaya plotnost' i klassifikatsiya populyatsiy [Ontogenetic state, effective density and classification of populations]. *Ekologiya = Journal of Ecology*. 2001;1:3-7. In Russian
 23. Rabotnov TA. Zhiznennyy tsikl mnogoletnikh travyanistykh rasteniy v lugovykh tsenozakh [Life cycle of perennial plants in pratal cenoses]. *Trudy Botanicheskogo instituta AN SSSR. Ser. 3. Geobotanika = Proceedings of the Botanical institute of the Academy of Sciences of the USSR. Geobotany*. 1950;6:7-204. In Russian
 24. Serebryakova TI. Modeli pobegoobrazovaniya i nekotorye puti evolyutsii v rode *Gentiana* L. [The models of strand formation and some evolutionary paths in the *Gentiana* L.]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy = Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 1979;84(6):97-108. In Russian

Received 22 June 2017; Revised 24 September 2017; 20 February 2018;

Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018

Author info:

Borovik Tamara S, Post Graduate Student, Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: tamaraborovik11@mail.ru

Revushkin Aleksandr S, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: ppu@mail.tsu.ru

УДК 581.5:582.998.1(571.151)

doi: 10.17223/19988591/41/4

**О.В. Дорогина¹, Е.В. Жмудь¹, Т.В. Елисафенко¹,
А.А. Ачимова², И.Н. Кубан¹, М.Б. Ямтыров²**

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Алтайский филиал Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН
«Горно-Алтайский ботанический сад», Республика Алтай, Россия

Состояние ценопопуляций редкого вида *Brachanthemum krylovii* Serg. (Asteraceae) в Республике Алтай

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка морфогенетического потенциала популяций растений Северной Азии экспериментальными методами» (рег. номер 0312-2014-0001) при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (рег. номер 0312-2014-0001).

*Представлены результаты исследований четырех ценопопуляций редкого вида *B. krylovii* в Центральном Алтае. Установлено, что под влиянием антропогенного воздействия (проведение круглогодичного выпаса) в ценопопуляциях *B. krylovii* происходит изменение жизненной формы от кустарника с немногочисленными побегами к вынужденному многопобеговому полукустарничку, что способствует поддержанию целостности популяции. При наличии выпаса происходят периодическое повреждение годичных побегов и нарушение возможности лигнификации особей; переход к жизненной форме полукустарничка сопровождается более интенсивным побегообразованием и увеличением числа генеративных побегов. К неблагоприятным погодным условиям (жаркая сухая погода) в сообществах, подверженных воздействию антропогенных факторов, особи адаптируются сокращением величины годичного прироста, снижением доли генеративных побегов и числа соцветий. В этих условиях ухудшается семеношение, но формируются более крупные по размерам семена. В изученных местообитаниях не отмечено наличия особей в прегенеративном периоде развития, выявлена их стабильная плотность и низкий процент семенификации (не более 20%).*

Ключевые слова: *жизненная форма; изменчивость морфологических признаков; восстановление природных популяций.*

Введение

Сохранение биоразнообразия видового состава растительности невозможно представить без комплексных исследований факторов, влияющих на исчезновение редких видов, и возможностей их сохранения, в том числе в культуре, с использованием методов биотехнологии и реинтродукции в пределах мест их естественного произрастания [1–4]. Реконструкция природ-

ных популяций редких и исчезающих видов растений проводится методами транслокации (перенос живых растений или диаспор из другой части ареала) или реинтродукции (использование интродукционного материала) [5]. Использование реинтродукции при реконструкции (восстановлении) природных популяций является одним из эффективных способов поддержания воспроизводства популяций и инструментом для сохранения биоразнообразия [6]. Это актуально для видов, обладающих широким дизъюнктивным ареалом и хорошо размножающихся семенами или вегетативно [7–9]. Для видов семенного размножения посев семенами в грунт оказывается предпочтительным в тех случаях, когда рассада особей редкого вида приживается с трудом [10]. Однако в ряде случаев реконструкция методом реинтродукции рассадой или транслокацией взрослыми растениями может дать лучшие результаты, чем посев семенами [11, 12]. Между тем, как указывают некоторые авторы, все методы по восстановлению природных популяций экономически весьма затратны, и в первоочередную задачу должны входить исследования редких видов для сохранения уже существующих популяций [13–14]. Выбор методов восстановления природных популяций возможен только после изучения биологии прорастания семян, онтогенеза, состояния природных популяций. Это особенно актуально для эндемиков, нуждающихся в специфических почвенно-климатических условиях, занимающих сравнительно небольшие территории и имеющих проблемы с семенным и вегетативным возобновлением. *Brachanthemum krylovii* Serg. является таким видом.

Род *Brachanthemum* DC. (*Asteraceae*) на территории Республики Алтай представлен двумя видами: *Brachanthemum krylovii* Serg. и *Brachanthemum baranovii* ((Krasch. et Poljak). Krasch.). Последний занесен в Красную книгу Республики Алтай [15] под статусом «вероятно исчезнувший» и определен как гибрид между *Brachanthemum krylovii* и *Chrysanthemum sinuatum* Ledeb. [16, 17].

B. krylovii – узколокальный эндемик Центрального Алтая. Занесен в Красную книгу Республики Алтай как уязвимый вид [15]. Согласно проведенным флористическим исследованиям, в пределах Онгудайского района Республики Алтай представлен довольно широко [16, 18–20].

С целью принятия мер по сохранению вида разработаны биотехнологические методы регенерации растений вида *in vitro* [21], описан его кариотип [22]. Г.П. Семеновой [23] *B. krylovii* отнесен к видам, неперспективным для интродукции в лесостепной зоне Западной Сибири. До настоящего времени практически не исследовано состояние популяций *B. krylovii* в локальных местообитаниях, не рассмотрены его адаптивные возможности. У исследователей нет единого мнения в отношении жизненной формы *B. krylovii*. Для некоторых образцов жизненная форма определена как кустарничек [24, 25], полукустарничек [26] или полукустарник [19].

Цель данного исследования – изучение состояния природных популяций *B. krylovii* в различных эколого-географических условиях Республики Алтай, адаптивного потенциала и возможностей сохранения вида.

Материалы и методика исследования

Брахантемум Крылова (*Brachanthemum krylovii* Serg.) – стержнекорневое поликарпическое растение, кустарник или полукустарничек, формирующее одну или несколько одревесневающих скелетных осей, расположенных орто- или анизотропно (рис. 1). Листья перисто-раздельные с 2–3 парами долей. Цветки собраны в корзинку диаметром 0,3–0,7 см. Синфлоресценция представляет собой кисть из щитков. Язычковые цветки желтого цвета.

Популяции *B. krylovii* распространены в основном в пределах Онгудайского района Республики Алтай (РА). Нами изучены четыре ценопопуляции (ЦП) в 2013–2015 гг. на абсолютных высотах 860–1 060 м (табл. 1). Особи из этих ЦП произрастали на известняковых субстратах, приуроченных к остепненным склонам южной или юго-западной экспозиции. Проективное покрытие травостоя в местообитаниях данного вида, как правило, невысокое и не превышало 20–30%.

Антропогенная нагрузка нами дифференцирована по мере удаленности от населенных пунктов, что соответствует неодинаковой степени выпаса. ЦП 1 находится на расстоянии около 7 км от села Кулада и в 2 км от с. Боочы на загороженной территории с регламентированным антропогенным воздействием (зимний выпас) (см. табл. 1). Растения из ЦП 2 на окраине с. Кулада подвергаются наиболее сильному антропогенному воздействию, так как здесь осуществляется беспрепятственный круглогодичный выпас скота. ЦП 3 располагается рядом с Чуйским трактом, в относительном удалении от крупных населенных пунктов, но антропогенная нагрузка на сообщество, на наш взгляд, сопоставима с отмеченной в ЦП 1 и ЦП 2. Таким образом, сообщества в данных трех местообитаниях подвергались антропогенной нагрузке (выпас сельскохозяйственных животных) (см. табл. 1). ЦП 4 находится в труднодоступном для сельскохозяйственных животных месте в долине р. Шавла, в 25 км от с. Белый Бом. Данное местообитание практически не нарушено. Таким образом, антропогенное воздействие испытывают растения *B. krylovii* в ЦП 1–3, а в ЦП 4 антропогенная нагрузка практически отсутствует.

Исследования *B. krylovii* проведены в 2013–2015 гг. в фазах бутонизации (24.06.2013 г., 5–7.07.2014 г., 6.07.2015 г.) и цветения – начала плодоношения (11–12.08.2013 г. и 20.08.2015 г.). При описании ЦП определяли экологическую плотность по методике Ю. Одум [27]. В относительно больших по площади популяциях (ЦП 1 и ЦП 4) использовали случайно-регулярный метод, при котором закладывали от 2 до 4 трансект поперек склона, включающих по 10 площадок размером 1 м², располагавшихся в трансекте подряд. Трансекты закладывались параллельно друг другу на расстоянии 1 м. В небольших по размеру ЦП 2 и ЦП 3 определяли численность и плотность особей (шт./м²) [plants per square meter, pl/m²] и площадь популяции на всем участке.

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Характеристика местообитаний *Brachanthemum krylovii*
в Онгудайском районе Республики Алтай**
[Characteristics of *Brachanthemum krylovii* habitats in Ongudai district of the Altay Republic]

№ ЦП [CP]	Местонахождение ЦП; координаты [Location of the CP; coordinates]	Абсолютная высота, (м над ур. м.), экспозиция склона (эксп. скл.) [Absolute altitude, (m above sea level), slope exposure (exp.s)]	Доминирующие виды растений; (всего видов) [Dominant plant species; (Total of species)]
CP 1	Окрестности с. Боочы [Surroundings of Boochy village]; 50°43'50"N 85°48'04"E	1 040 м; каменистый скл. юго-западной эксп. [Rocky south-west slope]	<i>Allium vodopjanovae</i> N.V. Friesen s.str. (<i>A. tenuissimum</i>), <i>Artemisia commutata</i> Bess.), <i>Hedysarum gmelinii</i> Ledeb., <i>Potentilla acaulis</i> L., <i>P. crebridens</i> Juz., <i>Thermopsis mongolica</i> Czefr., <i>Thymus altaicus</i> Klok. et Desj.-Shost.; (23)
CP 2	С. Кулада [Kulada village]; 50°43'21"N 85°48'03"E	1 060 м; каменистый скл. холма южной эксп. [Rocky south slope]	<i>Alyssum obovatum</i> (C.A. Mey.) Turcz., <i>Artemisia frigida</i> Willd., <i>Berberis sibirica</i> Pall., <i>Chamaerhodos altaica</i> (Laxm.) Bunge, <i>Dianthus versicolor</i> Fisch. ex Link., <i>Ephedra equisetina</i> Bunge, <i>Thymus altaicus</i> , <i>Youngia tenuifolia</i> (Willd.) Babc. et Stebbins; (15)
CP 3	Устье р. Чуи (Чуй-Оозы) [The mouth of the Chuia river (Chuy-Oozy)]; 50°24'04"N 86°40'33"E	860 м; каменистый скл. холма южной эксп. [Rocky south slope]	<i>Echinops humilis</i> M. Bieb., <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Iris humilis</i> Georgi, <i>Orostachys spinosa</i> (L.) C.A. Mey., <i>Carex pediformis</i> C.A. Mey.; (21)
CP 4	Окрестности с. Белый Бом [Surroundings of Belyu Bom village]; 50°09'38"N 86°52'32"E	950 м; скл. юго-западной эксп., осыпь [South-west slope]	<i>Artemisia rutifolia</i> Steph. ex Spreng., <i>Ephedra fedtschenkoae</i> Paulsen, <i>Caragana pygmaea</i> (L.) DC., <i>Galium cortaceum</i> Bunge, <i>Krascheninnikovia ceratoides</i> (L.) Gueldenst., <i>Orostachys spinosa</i> , <i>Panzeria canescens</i> Bunge; (12)

В каждой ЦП изучали произвольную выборку от 10 до 20 зрелых генеративных особей без внешних признаков дезинтеграции каудекса. Нами исследованы 14 метрических и аллометрических морфологических количественных признаков вегетативной и генеративной сферы. Длину годичного прироста, число листьев и корзинок определяли для наиболее развитого побега, листья измеряли в средней его части. Семенную продуктивность пересчитывали на соплодие по методике И.В. Вайнагий [28]. В каждой популяции изучено 20 соцветий, по одному с особи. В сравнительном плане охарактеризована семенная продуктивность у особей из ЦП 1 и ЦП 2

в 2013 и 2015 гг. (во II и III декаде августа соответственно). Исследованы показатели семенной продуктивности в расчете на одно соплодие (корзинку): потенциальной (ПСП) – число семязачатков в одном соплдии, реальной (РСП) – число завязавшихся семян, и процент семенификации – отношение РСП к ПСП, выраженное в процентах. Усредненную семенную продуктивность на особь определяли как произведение средних значений числа семян в соплдии, числа соцветий на побеге, числа генеративных побегов у особи. В образцах из этих двух местообитаний изучена морфология семян (20–30 шт.). Семена замачивали на 12–18 ч и измеряли их размеры на стереомикроскопе Carl Zeiss Stereo Discovery V12 с цветной цифровой камерой высокого разрешения AxioCam MRc-5 и программой AxioVision 4.8 для получения, обработки и анализа изображений (Germany). В обозначение ЦП входит номер местообитания (1–4) и фаза сезонного развития (А – бутонизация, Б – цветение-плодоношение) (А - budding; В - flowering-fruiting); две последние цифры обозначают год проведения исследований (2013, 2014, 2015). Особи из ЦП 1 и ЦП 2 изучены в трех вариантах: ЦП 1В–13, 1А–14, 1А–15 и 2В–13, 2А–14, 2А–15 соответственно. Кроме того, однократно изучены особи из ЦП 3 в 2013 г. и ЦП 4 в 2014 г. (3В–13 и 4А–14). У особей из ЦП 1 в 2013 г. изучена изменчивость некоторых морфологических признаков в фазе бутонизации (высота особей, длина годичного прироста, число и размер листовых пластинок). Таким образом, сравнительные исследования в разных эколого-географических условиях проведены в фазе бутонизации в 2014–2015 гг. (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 4), цветения–начала плодоношения – у особей в 2013 г. (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3). Особи в условиях культуры выращены из семян лабораторно-теплично-грунтовым методом [29]. Статистическая обработка проведена по Г.Н. Зайцеву [30] с использованием пакетов программ StatSoft STATISTICA и MS Excel. Обсуждаются результаты только статистически значимых отличий средних значений признаков в выборках, оценка которых проведена по непараметрическому U-критерию Вилкоксона–Манна–Уитни при $p < 0,05$ [31].

Результаты исследования и обсуждение

Для определения адаптивных особенностей *B. krylovii* нами исследованы морфологические характеристики особей этого вида в различных эколого-географических условиях и в разные по погодным условиям периоды вегетации. Установлено, что в изученных местообитаниях растения соответствуют описанию, сделанному для *B. krylovii* И.М. Красноборовым [19].

В местообитаниях с регулярным проведением выпаса (ЦП 1–3) у особей этого вида нами отмечено анизотропное расположение одревесневшей базальной части побегов. При наличии пастбищной нагрузки у особей наблюдалось регулярное повреждение ежегодно формирующихся годичных побегов, часто их полное обкусывание животными, в результате чего растения в таких местообитаниях оставались низкорослыми, их базальная часть

располагалась в основном анизотропно, а ортотропное нарастание побегов нарушено (рис. 1, А).

Ранее А.А. Ачимовой и В.П. Орловым [32] показано, что при отсутствии антропогенной (пастбищной) нагрузки в естественных условиях, например в долине р. Шавлы, особи *B. krylovii* достигали больших размеров и приобретали форму кустарника, а их побеги нарастали ортотропно. Авторы отмечали, что «из всех исследованных известных популяций брахантемума это единственное место, где растение имеет кустарниковую жизненную форму. Высота растений варьировала от 76 до 121 см, толщина стеблей у основания корневой шейки составила 15–25 мм» [32]. В 2014 г. нами исследованы растения в ЦП 4, произраставшие поблизости от изученного ранее этими авторами местообитания (в пределах 400–500 м от него) (см. табл. 1, рис. 1, В).

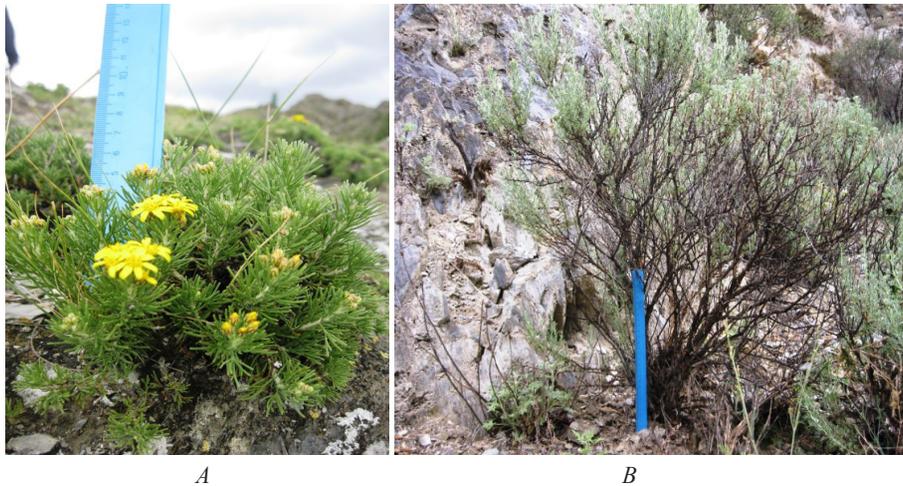


Рис. 1. *Brachanthemum krylovii* в Республике Алтай: А – особи из ЦП 1А–15, вынужденные полукустарнички; В – особи из ЦП 4А–14 кустарниковой жизненной формы (длина линейки 30 см). Фото Е.В. Жмудь

[Fig. 1. *Brachanthemum krylovii* in the Altai Republic: А - Plants from CP 1A-15, forced dwarf shrubs; В - Plants from CP 4A-14, shrub life form; the length of the ruler is 30 cm. Photo is made by EV Zhmud]

В пределах данной ЦП, расположенной в труднодоступном месте, выпас не осуществлялся, и растения *B. krylovii* достигали высоты, почти на порядок большей, чем в местообитаниях с наличием выпаса. В данном местообитании жизненная форма растений – кустарник. Площадь ЦП 4 составляла около 100 м². Мы не обнаружили высокорослых особей, изученных ранее, так как их прежнее местообитание в год проведения данных наблюдений оказалось затопленным при весеннем половодье в результате изменения русла р. Шавлы.

У зрелой генеративной особи *B. krylovii* число годичных побегов варьировало в зависимости от условий местообитания (табл. 2). При отсутствии выпаса в течение сезонного развития побегов у особей из ЦП 4 происходила

лигнификация годичных побегов, что приводило к нарастанию скелетных осей и обеспечивало генеративные органы растений качественно иными условиями для образования семян. У особей из данного местообитания развивалось статистически значимо ($p < 0,05$) меньше побегов, чем у особей из условий с наличием антропогенного воздействия (выпаса). У представителей из ЦП 4 общее число побегов в растениях в среднем не превышало 10, тогда как в ЦП 1 и 2, в условиях антропогенного воздействия, этот показатель значительно, почти на порядок, выше.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Морфологические характеристики *Brachanthemum krylovii* в Республике Алтай в 2013–2015 гг.

[Values of *Brachanthemum krylovii* morphological features in the Altai Republic in 2013-2015]

№ ЦП, фаза, год [CP, phase, year]	Параметры [Parameters]	Высота растения, см [Height of the plant, cm]	Длина прироста, см [Length of annual growth, cm]	Число годичных побегов [Number of annual shoots]			Доля генеративных побегов [Proportion of generative shoots], %	Число [Number]	
				вегетативных [vegetative]	генеративных [generative]	общее [total]		листьев [leaves]	соцветий [inflorescences]
1В-13	1*	12,1±0,4	7,3±0,3	55,7±5,1	19,0±1,7	74,7±5,4	27,4±2,5	–	9,6±1,2
	2**	16,7	9,6	42,0	41,4	33,2	43,0	–	50,2
	3***	9,0–16,5	–	20,0–95,0	5,0–38,0	35,0–114,0	6,3–46,7	–	5,0–21,0
2В-13	1	7,9±0,5	6,1±0,4	35,7±6,8	41,0±9,5	76,8±8,4	48,6±7,4	–	7,4±0,5
	2	27,2	29,5	86,9	105,8	50,2	70,0	–	30,0
	3	5,0–14,0	3,0–11,5	5,0–102,0	5,0–172,0	27,0–184,0	6,7–100,0	–	4,0–13,0
3В-13	1	14,3±1,6	8,6±0,9	80,3±12,3	19,0±7,1	99,3±15,3	17,48±4,28	14,3±1,2	22,8±2,0
	2	32,6	30,0	43,4	105,0	43,6	69,25	23,6	24,3
	3	5,0–20,0	6,5–14,0	31,0–137,0	5,0–61,0	37,0–146,0	6,2–42,4	9,0–18,0	17,0–32,0
1А-14	1	9,0±0,7	8,3±0,7	36,8±5,5	18,8±4,4	55,6±7,0	33,4±5,8	21,0±1,9	10,3±1,3
	2	24,1	27,1	47,5	73,5	39,9	54,8	27,9	40,2
	3	6,0–12,5	5,0–11,5	10,0–75,0	4,0–47,0	22,0–91,0	14,6–56,0	12,0–31,0	6,0–18,0
2А-14	1	6,1±0,7	6,9±0,3	54,2±6,7	23,3±5,4	77,5±9,3	29,0±4,8	20,4±1,6	–
	2	36,2	12,7	39,1	73,3	37,9	52,5	24,1	–
	3	3,0–10,0	6,0–9,0	29,0–90,0	3,0–54,0	46,0–134,0	3,2–53,2	12,0–28,0	–
4А-14	1	57,7±3,1	8,9±0,6	6,2±0,9	4,8±0,8	11,0±1,1	44,4±5,0	18,1±1,0	14,7±2,2
	2	22,2	23,7	58,2	65,8	40,5	46,3	19,8	61,8
	3	36,0–80,0	5,5–12,0	1,0–15,0	2,0–11,0	4,0–18,0	11,8–83,3	14,0–27,0	5,0–38,0
1А-15	1	8,1±0,4	4,3±0,3	53,8±3,9	9,8±1,3	64,2±0,2	15,8±2,2	17,2±1,0	6,3±0,4
	2	25,1	32,2	39,6	70,5	33,7	74,1	31,0	34,6
	3	5,2–13,5	2,4–8,0	22,0–91,0	1,0–28,0	29,0–102,0	1,2–41,4	10,0–31,0	2,0–13,0
2А-15	1	5,8±0,5	4,7±0,3	48,6±7,0	15,9±2,5	64,6±6,9	28,2±4,1	17,2±1,3	6,3±0,3
	2	39,7	31,3	71,4	78,8	53,1	72,8	37,6	25,7
	3	1,5–10,5	1,9–8,2	6,0–143,0	1,0–44,0	16,0–152,0	2,6–62,5	9,0–31,0	2,0–10,0

Примечание. 1* – среднее арифметическое значение ± ошибка средней; 2** – коэффициент вариации, %; 3*** – диапазон значений. Прочерк означает отсутствие данных.

[Note. 1* Mean value ± Error; 2** Coefficient of variation, %; 3*** Range of values. A dash indicates the absence of data].

На основании проведенных исследований можно утверждать, что свойственная *B. krylovii* жизненная форма – кустарник (у особей из ЦП 4), а при выпасе особи трансформируются в полукустарничек (в ЦП 1–3). Подобная ситуация ранее отмечена для других видов – кустарников и древесных растений – в культуре при обмерзании побегов. При этом в результате формировалась жизненная форма «вынужденные полукустарники или полукустарнички» [33]. У особей *B. krylovii* подобная жизненная форма образуется под воздействием антропогенных факторов в естественных условиях. Вынужденные полукустарнички *B. krylovii* ежегодно формируют десятки годичных побегов, которые при наличии периодического повреждения травоядными сельскохозяйственными животными не имеют возможности лигнификации. Годичным побегам свойственна высокая хрупкость. Они легко ломаются даже при незначительном механическом воздействии. Эта особенность также не способствует ортотропному нарастанию скелетных осей, но, вероятно, может играть положительную роль в сохранении особей. Вид растет на рыхляковых склонах [20], и в результате воздействия на растения определенной неустойчивости субстратов (осыпание, смещение) нарушение целостности побегов приводит не к гибели растения, а к утрате или повреждению отдельных побегов. Эта отличительная черта способствует сохранению особей также в случае антропогенных воздействий (выпаса). Таким образом, в трех местообитаниях *B. krylovii*, характеризующихся наличием выпаса, особи формируются как многопобеговые вынужденные полукустарнички, не превышающие 5–10 см в высоту. При отсутствии выпаса растения вида являются кустарниками с хорошо сформированными скелетными осями и немногочисленными годичными побегами.

В изученных ЦП *B. krylovii* отмечена неодинаковая экологическая плотность особей в различных эколого-географических условиях. Наименьшие значения этого показателя выявлены в ЦП 3–13 (0,2 шт./м²), а наиболее высокие отмечены в ЦП 2–13, подверженной круглогодичному выпасу (2,9–7,4 шт./м²). Доля генеративных особей в ЦП 1–13, ЦП 2–13 и ЦП 3–13 в августе 2013 г. составила более половины от общего их числа (65%, 59% и 78% соответственно). В ЦП 4–14 плотность произрастания особей имела средние значения и составила 1,3 шт./м². За время проведения исследований особи прегенеративного периода нами не обнаружены.

Феноритмы *B. krylovii* зависели от погодных условий вегетационного периода и несколько отличались в различных местообитаниях. В 2014 г. у особей вида в разных ЦП нами отмечена неодинаковая скорость наступления фазы бутонизации. Так, для особей из ЦП 1 и ЦП 4 наступление фазы массовой бутонизации отмечено 5–7 июля, а у представителей из ЦП 2 данная фаза развития в этот срок еще не отмечена. Массовое цветение, по проведенным наблюдениям, начиналось обычно в августе, но отдельные особи зацветали в начале июля. Раннее наступление этой фазы сезонного развития и продолжительное цветение растений играют важную приспособительную

роль, так как «массовое цветение наступает обычно в середине августа, когда вероятны ночные заморозки, и продолжается до конца сентября, что затрудняет успешное семенное возобновление» [20]. Вероятно, поэтому ростовые и размерные характеристики особей *B. krylovii* отличались в различных эколого-географических условиях в одни и те же периоды проведения наблюдений ($p < 0,05$). Например, годовые побеги *B. krylovii* (ЦП 1А–13, ЦП 1В–13) сохраняли способность к апикальному росту вплоть до начала цветения, удлиняясь от наступления фазы бутонизации в среднем в 1,2 раза.

Различие по размерам органов у особей вида в одном и том же местобитании может быть обусловлено неодинаковой скоростью их сезонного развития в разные по погодным условиям периоды вегетации. В 2013 г. у представителей из ЦП 1, изученных в фазе бутонизации (III декада июня 2013 г.), отмечены более крупные листовые пластинки ($1,82 \pm 0,07$ см в длину и $1,32 \pm 0,07$ см в ширину) по сравнению с изученными в 2015 г. (I декада июля) – $1,22 \pm 0,04$ см в длину и $0,51 \pm 0,04$ см в ширину соответственно ($p < 0,05$). Средняя длина годовичного прироста составила $5,8 \pm 0,3$ см, число листьев в данной фазе развития – $18,1 \pm 0,7$, что находилось в пределах средних значений за весь период наблюдений 2013–2015 гг. Погодные условия весной данного вегетационного периода характеризовались сухой аномально теплой погодой в середине–конце апреля, холодным маем с периодическими (до -2 – -7°C) заморозками, более низкой (на 2 – 3°) по сравнению с предыдущим годом среднемесячной температурой и периодическими осадками в виде дождя, переходящего в мокрый снег. Лето 2013 г. оказалось прохладным и дождливым. Июнь был самым прохладным из летних месяцев, в июле температура опускалась ниже прошлогодних значений на 1 – 3°C , в августе жаркая погода также не отмечена [34].

Сравнение количественных морфологических характеристик у особей *B. krylovii* в ЦП 1–ЦП 3, находившихся в условиях антропогенного воздействия, проведенное в фазе цветения–начала плодоношения во II декаде августа этого года, показало, что более высокими значениями высоты особей, длины их годовичного прироста, числа побегов и соцветий, отличались особи из ЦП 3 ($p < 0,05$). Однако у ее представителей отмечены меньшие соотношения числа генеративных и вегетативных побегов ($0,24 \pm 0,01$; $\text{Cv } 93,1\%$), доля генеративных побегов и в 2–3 раза ниже средние значения облиственности, чем у особей из ЦП 1 и ЦП 2 (см. табл. 2). В этот же период наблюдений в пределах ЦП 2 особи характеризовались более низкой длиной побегов, минимальным числом вегетативных побегов и соцветий ($p < 0,05$) (см. табл. 2). К отличительным особенностям ее представителей можно отнести наиболее высокое число генеративных побегов и их высокую долю, составлявшую почти половину от общего числа сформированных побегов, а также наиболее высокое соотношение числа генеративных и вегетативных побегов по сравнению с представителями из ЦП 1 ($p < 0,05$) ($3,7 \pm 1,2$; $\text{Cv } = 145\%$ и $0,41 \pm 0,05$; $\text{Cv } = 55,7\%$ соответственно). Особи из ЦП 1 по изученным коли-

чественным показателям в данный период наблюдений занимали промежуточное положение (см. табл. 2).

В 2014 г. в связи с более благоприятными погодными условиями для роста и развития растений в сравнительно близкие (с 2013 г.) календарные сроки проведения исследований у особей из ЦП 1 и ЦП 2 выявлены более высокие значения длины годовичного прироста побегов и наиболее высокая облиственность по сравнению с растениями из этих местообитаний в другие годы наблюдений ($p < 0,05$). Согласно метеорологическим данным, весной этого года (29–31 мая) в Онгудайском районе выпало 1–2 месячные нормы осадков (при среднемноголетних нормах температуры), что положительно повлияло на ростовые характеристики растений даже при наличии необычно поздних весенних заморозков в I декаде июня, что позже среднемноголетних сроков на 9–15 дней [32]. Погодные условия повлияли и на потенциальную семенную продуктивность растений. У представителей из ЦП 2 доля генеративных побегов в 2014 г. составила меньшую величину, чем в предыдущем. У особей из ЦП 1 в начале июля 2014 г. в условиях аномально высокого количества осадков, выпавших в конце мая [35], сформировалось в 1,6 раза больше бутонов, чем в 2015 г. в этот же период времени.

Различия по средним значениям высоты растений, отмеченные в 2014 г. в фазе бутонизации у особей из ЦП 4, где особи обладали кустарниковой жизненной формой, связаны с отсутствием выпаса. Доля генеративных побегов у особей из данной ЦП также более высока, хотя общее число побегов, в том числе генеративных, минимальное по сравнению с изученными особями вида в других местообитаниях в течение трехлетнего срока наблюдений ($p < 0,05$). В условиях антропогенного воздействия в 2014 г. у особей из ЦП 1 и ЦП 2 отмечены сходные ростовые характеристики. Сравнение показало, что в данный период наблюдений апикальное нарастание побегов, выраженное в длине годовичного побега, оказалось меньшим у особей из ЦП 2 ($p < 0,05$). У представителей из этой ЦП доля генеративных побегов в данный срок наблюдений наполовину уменьшилась по сравнению с предыдущим годом исследований (см. табл. 2).

Нами выявлена минимальная длина годовичного прироста за трехлетний период проведения наблюдений у особей *B. krylovii* из ЦП 1 и ЦП 2 в 2015 г. в фазе бутонизации (I декада июля). В этот год отмечена ранняя, но затяжная весна. Температурный режим весной имел сходный характер с прошлогодним, но осадки распределились более равномерно, а их количество превышало среднемноголетние нормы. Лето отличалось от 2014 г. по температурному режиму и увлажнению. В течение всего летнего периода установилась жаркая погода с недобором осадков в начале и конце сезона. Выявлено превышение среднегодовых норм среднемесячных температур на 1–2°C по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Жаркая погода с низкой относительной влажностью воздуха уже в III декаде июня в Онгудайском районе привела к сильному иссушению верхнего слоя почвы [36].

Данные погодные условия не способствовали успешному развитию *B. krylovii*. У представителей вида в ЦП 1 и ЦП 2 в фазе бутонизации к I декаде июля сформированы годовые побеги минимальной длины за весь период наблюдений и минимальное число бутонов. Число генеративных побегов оказалось в 1,5–1,9 раза ниже по сравнению с прошлогодними показателями ($p < 0,05$). У особей из ЦП 1 доля генеративных побегов в данный период наблюдений не превысила половину от числа побегов, сформированных в другие годы наблюдений (см. табл. 2).

У представителей из ЦП 2, в местообитании с более длительным круглогодичным антропогенным воздействием на сообщество, отмечена более низкая средняя длина годовых побегов в этот период проведения наблюдений, чем у особей из ЦП 1, что зафиксировано и в предыдущие годы. При этом число сформированных генеративных побегов и их доля у особи характеризовались более высокими значениями по сравнению с отмеченными у особей из ЦП 1 ($p < 0,05$) (см. табл. 2).

Нами выявлено, что варьирование значений у изученных морфологических признаков *B. krylovii* изменялось от нормальных до аномальных значений (см. табл. 2). Нормальное варьирование отмечено у размерных признаков – высоты особей, длины годового прироста, размеров корзинки и потенциальной семенной продуктивности. Большое и аномальное варьирование выявлено для признаков, характеризующих воздействие на растения погодных условий текущего вегетационного периода: числа листьев, сформированных побегов, генеративных и вегетативных, и параметров реальной семенной продуктивности: числа соцветий, семян, процента семенификации.

Особи *B. krylovii* размножаются исключительно семенным путем. В период проведения исследований в пределах изученных ЦП нами не обнаружено молодых особей *B. krylovii*, находившихся в прегенеративном периоде развития. Семенная продуктивность *B. krylovii* невысока и не превышала пятой части от числа сформированных семязачатков. Семена *B. krylovii* полноценные, дифференцированные, с хорошо сформированным зародышем, крупными семядолями и развитым зародышевым корешком. Размеры и масса семян у особей в ЦП 1 и ЦП 2 в 2013 г. статистически значимо не отличались (длина семени в ЦП 1 составила $2,00 \pm 0,03$ мм, а масса – $34,30 \pm 0,02$ мг, а в ЦП 2 – $2,10 \pm 0,05$ и $34,20 \pm 0,04$ соответственно).

Сравнение некоторых параметров семенной продуктивности у особей *B. krylovii* из ЦП 1 и ЦП 2 показало, что в более влажном и прохладном 2013 г. у представителей из ЦП 1 отмечены более высокие значения потенциальной семенной продуктивности по сравнению с особями из ЦП 2 ($p < 0,05$). В 2015 г. нами выявлена стабильность ее потенциальных показателей у изученных представителей в обоих местообитаниях. Реальная семенная продуктивность варьировала от 0 до 14 семян на соплодие (рис. 2).

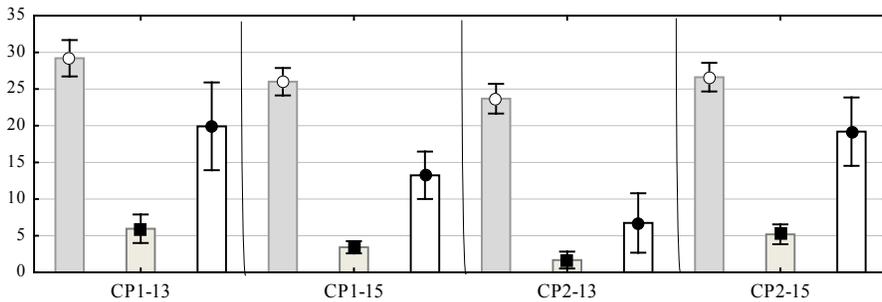


Рис. 2. Семенная продуктивность *Brachanthemum krylovii* в Республике Алтай в 2013 г. (II декада августа) и 2015 г. (III декада августа). По оси ординат – средние значения признаков с 95%-ным доверительным интервалом, по оси абсцисс – номера ЦП (1 и 2), изученных в 2013 и 2015 гг. Обозначения: – средняя потенциальная семенная продуктивность в расчете на соплодие; – реальная семенная продуктивность в расчете на соплодие; – процент семенификации

[Fig. 2. Seed productivity of *Brachanthemum krylovii* (Altai Republic) in 2013 (II decade of August) and in 2015 (III decade of August). On the X-axis - Mean values of the characteristics with 95% confidence interval; on the Y-axis - Numbers of CP (1 and 2), studied in 2013 and 2015. Symbols: - Average potential seed productivity per infructescence; - Real seed productivity per infructescence; - Percentage of seminification]

У особей из ЦП 1 показатели потенциальной семенной продуктивности не отличались в разные годы наблюдений, а показатели реальной семенной продуктивности в 2013 г. оказались значимо выше по сравнению с 2015 г. (см. рис. 2). Так, в 2013 г. средняя семенная продуктивность в пересчете на особь в 3 раза превышала этот показатель по сравнению с 2015 г. (1 094 и 329 шт. семян на особь соответственно). Также в разные годы у особей из данной ЦП отличалась форма соплодий. В 2013 г. формировались более округлые соплодия, а в 2015 г. – более узкие и длинные (табл. 3). Кроме того, выявлено, что у особей из этой ЦП в течение более засушливого 2015 г. образовывались более крупные семена (длиннее и тяжелее), чем в 2013 г. [31, 33]. Так, масса 1 000 семян составила $34,53 \pm 0,02$ и $34,30 \pm 0,1$, их длина – $2,27 \pm 0,24$ и $2,09 \pm 0,15$ соответственно.

У особей из ЦП 2 наблюдалась противоположная картина: в более засушливом 2015 г. отмечена более высокая (на 38%) семенная продуктивность по сравнению со значением этого признака в 2013 г. (см. рис. 3). Таким образом, у особей из данной ЦП более высокая РСП и высокий процент семенификации отмечены в засушливом и жарком 2015 г. по сравнению с показателями, полученными в более влажный и прохладный вегетационный период в 2013 г.

Таким образом, особи в каждой изученной ЦП отличаются определенными адаптивными особенностями. В условиях антропогенного воздействия метеоусловия в разные по погодным условиям периоды вегетации неодина-

ково влияли на изменчивость длины генеративных побегов, числа и размеров листьев и соцветий и некоторые параметры семенной продуктивности у особей вида.

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

Размеры корзинок у особей *Brachanthemum krylovii* в ценопопуляциях в 2013 и 2015 гг. в фазе плодоношения в Республике Алтай
[The anthodium size in *Brachanthemum krylovii* cenopopulations in the fruiting period (Altai Republic, 2013 and 2015)]

№ ЦП [№ CP]	Длина, см [Length, cm]		Ширина, см [Width, cm]		Длина/ширина [Length/Width]	
	1*	2**	1	2	1	2
1В–13	0,52±0,01	8,33	0,50±0,01	13,25	0,97±0,02	11,48
1В–15	0,67±0,01	8,35	0,40±0,01	12,29	0,61±0,02	17,77
2В–13	0,55±0,01	9,37	0,46±0,01	10,70	0,85±0,02	12,21
2В–15	0,70±0,01	9,62	0,41±0,01	7,34	0,59±0,02	12,59

Примечание. 1* – среднее значение ± ошибка; 2** – коэффициент вариации, %.

[Note. 1* - Mean value ± Error; 2** - Coefficient of variation, %]

Нами начаты исследования возможности реконструкции природных популяций *B. krylovii*. Сложность расширения культигенного ареала *B. krylovii*, облигатного кальцефита, заключается в необходимости создания специфических условий для выращивания в интродукционных центрах. Наши попытки проведения реконструкции природных популяций рассадой этого вида растений, полученной в Центральном сибирском ботаническом саду (г. Новосибирск), пока не увенчались успехом. Пересаженные виргинильные особи в естественных условиях (Республика Алтай, Чуй-Оозы) либо не приживались в течение периода вегетации в текущем году, либо не возобновлялись на следующий. Невозможность использования метода транслокации живыми растениями обусловлена формированием у них мощной стержнекорневой системы, наличием плотного каменистого субстрата в местах произрастания вида и отсутствием в большинстве популяций особей прегенеративного периода (с незначительно развитой корневой системой), которые можно использовать в качестве доноров для пересадки. Поэтому в качестве одной из мер охраны *B. krylovii* можно рекомендовать проведение подбора условий для сохранения вида в культуре. Для сохранения вида можно рекомендовать следующие мероприятия:

1. Поиск природных популяций с полночленным онтогенетическим спектром и использование растений прегенеративного периода для транслокации и интродукции.

2. Мониторинг и реконструкция природных популяций, находящихся под антропогенным воздействием. При ухудшении их состояния предпринимать меры для соблюдения регламентированной антропогенной нагрузки.

3. Проведение сравнительной оценки эффективности реконструкции методами транслокации (семенами) и реинтродукции (рассадой).

4. Расширение культигенного ареала с привлечением методов биотехнологии и подбора эффективных микроэкологических условий для роста и развития растений в условиях культуры.

Таким образом, нами выявлено, что растения *B. krylovii* обладают стабильным потенциалом развития вегетативной сферы, что наиболее эффективно реализуется в ненарушенных местообитаниях. У особей рост годичных побегов, увеличение их числа и облиственности продолжают в течение периода вегетации до наступления фазы массового цветения. В засушливых условиях у особей *B. krylovii* формируются короткие годичные побеги, дифференцируется минимальное число генеративных побегов и соцветий. Потенциальная семенная продуктивность достигает в среднем 2 500–7 000 семян на особь. Несмотря на это, семенное возобновление особей *B. krylovii* крайне неустойчивое и в изученных местообитаниях реализуется не ежегодно. Нами показано, что в условиях антропогенного воздействия в ценопопуляциях 1–3 особи вида развивались как вынужденные полукустарнички и ежегодно формировали десятки годичных побегов, которые, периодически повреждаясь травоядными сельскохозяйственными животными, не имели возможности лигнификации.

Установлено, что в условиях антропогенного воздействия у зрелых генеративных особей из ЦП 1 развивается незначительная часть генеративных побегов – 1/3–1/6 от общего числа сформированных побегов, по сравнению с особями из других местообитаний. Семенная продуктивность особей этой популяции достоверно более высока в прохладный и влажный вегетационный период. В условиях более засушливого и жаркого лета снижение этого показателя сопровождалось увеличением массы и размеров семян. Опасение вызывает снижение плотности растений в данной ценопопуляции, отмеченное в течение срока проведения наблюдений.

Особи из ЦП 2 в течение трехлетнего периода наблюдений отличались от представителей из двух других местообитаний, в которых присутствует антропогенное воздействие, минимальными значениями средней высоты, длины годичного прироста и низким числом соцветий. Адаптация в этих условиях выражается в увеличении числа сформированных генеративных побегов, которые могут составлять в среднем почти половину от общего их числа. Наступление фазы цветения у ее представителей задерживалось по сравнению с особями из других аналогичных местообитаний. Выявлено, что у особей из ЦП 2 в условиях жаркого и засушливого лета отмечена более высокая семенная продуктивность, чем в прохладный влажный вегетационный период.

Особи из ЦП 3 в условиях антропогенного воздействия формировались более высокорослыми по сравнению с представителями из двух других местообитаний, также подверженных выпасу. Однако доля генеративных побегов у них не превышала пятой части от общего числа, и для годичных побегов характерна низкая облиственность. У особей этой ЦП отмечена

наиболее высокая потенциальная продуктивность семян, что связано с развитием максимального числа соцветий на генеративных побегах.

Нами обнаружено, что особи из ЦП 4, однократно изученные в 2014 г. в ненарушенном местообитании, характеризовались кустарниковой жизненной формой, что выражалось в формировании ортотропных побегов высотой в среднем до полуметра, минимальным числом сформированных побегов и высокой долей годичных генеративных побегов (в среднем около половины от общего их числа).

Заключение

Таким образом, исследование показало, что под влиянием антропогенного воздействия у всех представителей *B. krylovii* реализуется адаптационный потенциал, способствующий поддержанию целостности ценопопуляции. В условиях интенсивного выпаса у растений нарушается процесс ортотропного нарастания побегов, они остаются невысокими, и меристематический потенциал особей перенаправляется на увеличение числа побегов. В этих условиях растения образуют жизненную форму вынужденного полукустарничка. При отсутствии антропогенного воздействия (выпаса) растения формируются как кустарники, что создает качественно иные условия для реализации потенциала семенного размножения вида.

В работе использовались оборудование центра коллективного пользования ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск), а также материалы «Биоресурсной коллекции ЦСБС СО РАН» и УНУ «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» USU 440534.

Литература

1. Mistretta O., White S.D. Introducing Two Federally Listed Carbonate - Endemic Plants onto a Disturbed Site in the San Bernardino Mountains, California // *Southwestern rare and endangered plants: Proceedings of the Third Conference*. 2000 / J. Maschinski, L. Holter, tech. eds. 2001. PP. 20–26.
2. Ren H., Zhang Q., Wang Z., Guo Q., Wang J., Liu N., Liang K. Conservation and possible reintroduction of an endangered plant based on an analysis of community ecology: a case study of *Primulina tabacum* Hance in Chinapsbi // *Plant Species Biology*. 2010. Vol. 25. PP. 43–50. doi: [10.1111/j.1442-1984.2009.00261.x](https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2009.00261.x)
3. Saw L.G., Chua L.S.L., Suhaida M., Yong W.S.Y., Hamidah M. Conservation of some rare and endangered plants from Peninsular Malaysia // *Kew Bulletin*. 2010. Vol. 65, is. 4. PP. 681–689. doi: [10.1007/s12225-011-9251-6](https://doi.org/10.1007/s12225-011-9251-6).
4. Appelhans M., Wagner W. New and Extremely Rare Species of *Melicope* (Rutaceae) Described from Maui // *The Plant Press*. 2016. Vol. 19, № 4. P. 12
5. Елисафенко Т.В., Дорогина О.В. К вопросу о терминологии и восстановлении исчезнувших и исчезающих популяций // *Проблемы изучения растительного покрова Сибири : материалы V науч. конф., посвященной 130-летию Гербария им. П.Н. Крылова и 135-летию Сибирского ботанического сада ТГУ (Томск, 20–22 октября 2015 г.)*. Томск : Издательский дом ТГУ, 2015. С. 283–285.

6. Akeroyd J., Jackson P.W. A handbook for botanic gardens on the reintroduction of plants to the wild. Botanical Gardens Conservation International and IUCN. Richmond Surrey, 1995. 32 p.
7. Baskin J.M., Walck J.L., Baskin C.C., Buchele D.E. Ecology and Conservation Biology of the Endangered Plant Species *Solidago shortii* (Asteraceae) // Native Plants Journal. 2000. Vol. 1, № 1. PP. 35–41. doi: [10.3368/npj.1.1.35](https://doi.org/10.3368/npj.1.1.35).
8. Trusty J.L., Miller I., Boyd R.S., Goertzen L.R., Pence V.C., Plair B.L. Ex Situ Conservation of the Federally Endangered Plant Species *Clematis socialis* Kral (Ranunculaceae) // Natural Areas Journal. 2009. PP. 376–384. doi: [10.3375/043.029.0404](https://doi.org/10.3375/043.029.0404)
9. Choudhury B., Khan L. M. Conservation and Management of Endangered Plant Species: A Case Study from Northeast India // Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability. Global Science Books. 2010. PP. 47–53.
10. Дорогина О.В., Елисафенко Т.В., Нечепуренко С.Б., Ачимова А.А., Ямтыров М.Б. Опыт реставрации популяций *Hedysarum theinum* (Fabaceae) в Горном Алтае // Растительный мир азиатской России. 2014. № 3 (15). С. 81–86.
11. Jusaitis M., Polomka L., Sorensen B. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae) // Biological Conservation. 2004. Vol. 116, is. 2. PP. 251–66. doi: [10.1016/S0006-3207\(03\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00196-4)
12. Reckinger C., Colling G., Matthies D. Restoring Populations of the Endangered Plant *Scorzonera humilis*: Influence of Site Conditions, Seed Source, and Plant Stage // Restoration ecology. 2010. Vol. 18, is. 6. PP. 904–913. doi: [10.1111/j.1526-100X.2009.00522.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00522.x)
13. Maunder M. Plant reintroduction: an overview // Biodiversity and conservation. Plant reintroduction: an overview. 1992. Vol. 1, is. 1. PP. 51–61.
14. Drayton B., Primack R. Rates of success in the reintroduction by four methods of several perennial plant species in eastern Massachusetts // Restoration Ecology. 2012. Vol. 20, № 3. PP. 299–303.
15. Орлов В.П., Красноборов И.М. Брахантемум Крылова – *Brachanthemum krylovianum* Serg. Семейство Сложноцветные – Asteraceae // Красная книга Республики Алтай (растения) / И.М. Красноборов (отв. ред.). Горно-Алтайск : Горно-Алтайская типография, 2007. 272 с.
16. Пяк А.И. О видах рода *Brachanthemum* D.C. во флоре Алтая // Систематические заметки по материалам Гербария Томского университета. 1998. Вып. 90. С. 16–18.
17. Смирнов С.В., Frisen N. Использование молекулярно-генетического анализа для выявления гибридов на примере *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : материалы V Международной научно–практической конференции. Барнаул : АзБука, 2006. С. 256–258.
18. Пяк А.И. Петрофиты Русского Алтая. Томск : Изд-во ТГУ, 2003. 196 с.
19. Красноборов И.М. Род *Brachanthemum* D.C. DC // Определитель растений Республики Алтай. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. С. 427–428.
20. Пяк А.И. Особенности высотного распространения *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae) в связи с плейстоценовыми событиями на Алтае // Ботанический журнал. 1999. Т. 84, № 3. С. 92–103.
21. Соловьева В.В., Вечернина Н.А., Таваркиладзе О.К., Шмаков А.И. Регенерация растений *Brachanthemum baranovii* (et Poljak) Krasch. в культуре *in vitro* // Известия Алтайского госуниверситета. 2003. № 3 (29). С. 108–111.
22. Smirnov S.V., Kondo K. Karyotype of *Brachanthemum krylovii* Serg. // Chromosome Botany. 2013. № 2. PP. 29–30. <http://doi.org/10.3199/iscb.8.29>.
23. Семенова Г.П. Редкие и исчезающие виды флоры Сибири: биология, охрана. Новосибирск : Гео, 2007. 408 с.
24. Крашенинников И.М. О роде *Brachanthemum* DC // Ботанические материалы. 1949. Т. 11. С. 181–200.

25. Крылов П.Н. Флора Западной Сибири. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1949. Вып. 11. 469 с.
26. Цвелев Н.Н. Род *Brachanthemum* DC // Флора СССР. М. ; Л., 1961. Т. 26. С. 390–397.
27. Одум Ю. Экология / пер. 3-го англ. изд. «Основы экологии» под ред. Н.П. Наумова. М. : Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
28. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59, № 6. С. 826–831.
29. Дюрягина Г.П. К методике интродукции редких и исчезающих растений // Ботанический журнал. 1982. Т. 67, № 5. С. 679–687.
30. Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. М. : Наука, 1991. 184 с.
31. U-Критерий Вилкоксона–Манна–Уитни. URL: <http://medstatistic.ru/theory/mann.html> (дата обращения: 03.03.2017).
32. Ачимова А.А., Орлов В.П. Редкие растения бассейна р. Шавла (Центральный Алтай) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : IV Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 12–14 декабря 2005 г.). Барнаул, 2005. С. 7–8.
33. Мазуренко М.Т. Биоморфологический метод в интродукции растений // Интродукция растений: теоретические, методические и прикладные проблемы : материалы Междунар. конф., посвященной 70-летию Ботанического сада-института МПГУ и 70-летию проф. М.М. Котова (10–14 августа 2009 г., Йошкар-Ола). Йошкар-Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 2009. С. 47–56.
34. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2013 г. Климатические особенности года. Горно-Алтайск, 2014. С. 41–46. Available at: http://elkurlutay.ru/docs/monitoring/2013/doklad_2013.pdf (дата обращения: 05.09.2017).
35. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2014 г. Климатические особенности года. Горно-Алтайск, 2015. С. 41–44. Available at: http://mpr-ra.ru/docs/123/Doklad_2014.pdf (дата обращения: 05.09.2017).
36. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2015 г. Климатические особенности года. Горно-Алтайск, 2016. Департамент Росгидромета по СФО. Горно-Алтайский ЦГМС – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» Климатические и другие особенности 2015 года. Опасные явления. Горно-Алтайск, 2016. С. 41–44. Available at: <http://ekologia-ra.ru/publikaczii--doklady/> (дата обращения: 05.09.2017).

Поступила в редакцию 05.09.2017 г.; повторно 10.11.2017 г.;
принята 17.01.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Авторский коллектив:

Дорогина Ольга Викторовна – д-р биол. наук, профессор, зам. директора, зав. лабораторией редких и исчезающих видов растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101).

E-mail: olga-dorogina@yandex.ru

Жмудь Елена Викторовна – канд. биол. наук, доцент, с.н.с. лаборатории редких и исчезающих видов растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101).

E-mail: elenazhmu@ngs.ru

Елисафенко Татьяна Валерьевна – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории редких и исчезающих видов растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101).

E-mail: tveli@ngs.ru

Ачимова Алтынай Алексеевна – канд. биол. наук, директор филиала Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Горно-Алтайский Ботанический сад» (Россия, 649218, Республика Алтай, Шибалинский район, с. Камлак, урочище Чистый Луг).

E-mail: gabs@ngs.ru

Кубан Ирина Николаевна – м.н.с. лаборатории редких и исчезающих видов растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101).

E-mail: irinakuban@gmail.com

Ямтыров Максим Борисович – н.с. филиала Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Горно-Алтайский Ботанический сад» (Россия, 649218, Республика Алтай, Шибалинский район, с. Камлак, урочище Чистый Луг).
E-mail: gabs@ngs.ru

For citation: Dorogina OV, Zhmud EV, Elisafenko TV, Kuban IN, Achimova AA, Yamtyrov MB. The state of cenopopulations of a rare species *Brachanthemum krylovii* Serg. (Asteraceae) in the Altai Republic. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;41:53-74. doi: 10.17223/19988591/41/4 In Russian, English Summary

**Olga V. Dorogina¹, Elena V. Zhmud¹, Tatiana V. Elisafenko¹,
Irina N. Kuban¹, Altynai A. Achimova², Maxim B. Yamtyrov²**

¹ Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russian Federation

² Gorno-Altai Botanical Garden, Branch of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Altai Republic, Russian Federation

The state of cenopopulations of a rare species *Brachanthemum krylovii* Serg. (Asteraceae) in the Altai Republic

Brachanthemum krylovii Serg. is a narrow-endemic of the Central Altai. It was included in the Red Book of the Altai Republic as a vulnerable species. *B. krylovii* is a taproot polycarpic plant, shrub or half-shrub, forming several lignified skeletal axes. It reproduces only by seeds. The state of populations, the variability of morphological characteristics and the life form of plants in natural conditions, as well as adaptive possibilities of the species have not been studied so far. The paper describes the state of *B. krylovii* cenopopulations (CP) in Ongudai region (Altai Republic) (See Table 1). In each CP, we studied a random sampling of 10 to 20 mature generative individuals without external signs of caudex disintegration in 2013-2015. We investigated 14 metric and allometric morphological quantitative characteristics of the vegetative and generative sphere. We calculated seed productivity indicators per one infructescence: potential seed productivity (PSP), real number of formed seeds (RNS) and the percentage of seminification: the ratio of RNS to PSP, expressed in percentage. The average seed productivity per individual was determined as the product of the mean values of the number of seeds in the infructescence, the number of inflorescences on the shoot, and the number of generative shoots in the individual.

We established that individuals from undisturbed habitats are shrubs with orthotropic shoots, with an average height of up to half a meter, and with a small number of annual shoots (on average, 11.0 ± 1.1) (See Table 2 and Fig. 1). The life-form of plants varies from a shrub with a few shoots to a forced dwarf shrub under the influence of anthropogenic impact (grazing). We noted that the annual shoots were damaged by farm animals; their lignification was disturbed under the impact of grazing. In this case, the plant height was significantly lower, and we revealed a much larger number of annual shoots (for example, in individuals from CP 2A-14, on average, up to 77.0 ± 9.3) (See Table 2). Thus, all *B. krylovii* representatives have an adaptive potential that helps maintain the integrity of cenopopulations. We found out that under anthropogenic influence (intensive grazing), the process of orthotropic shoot growth in plants is disrupted. The meristematic potential of individuals is reoriented to increase the number of annual shoots. As a result, *B. krylovii* forms as a dwarf shrub instead of a shrub. We showed that without human impact (grazing), plants form as shrubs, which creates qualitatively different conditions for realization of their seed reproduction

potential. We established that potential seed productivity of *B. krylovii* plants reaches, on average, 2500-7000 ovules per individual (See Table 2). Despite this, the seed renewal of *B. krylovii* individuals is extremely unstable, and, probably, does not take place every year, since we did not find shoots and young individuals. Comparison of seed productivity parameters of *B. krylovii* from CP 1 and CP 2 demonstrates that in the more humid and cool 2013 the representatives from CP 1 showed significantly higher PSP values. PSP of its individuals did not vary in different years of observation. We determined that RNS was significantly higher in 2013, compared to 2015 (See Fig. 2). In addition, more rounded infructescences formed in 2013, and in 2015 they were narrower and more elongated (See Table 3). There was no evidence of individuals in the pre-regenerative period in the studied habitats. Under unfavorable weather conditions (hot dry weather), the length of the annual shoot reduces in plants, and the proportion of generative shoots and the number of inflorescences decrease in communities where grazing is practised. As a result, seed production deteriorates, but larger seeds are formed.

As a way of preserving *B. krylovii* species, introduction proved to be ineffective in the forest-steppe zone of Western Siberia. Nevertheless, in the laboratory, we obtained seedlings, which can be used as a donor for restoration of natural populations. It is also necessary to monitor natural populations where grazing is practised. If their state deteriorates, environmental measures should be implemented to maintain the regulated anthropogenic load and restore these populations by the method of “translocation” (seeds) and “reintroduction” (seedlings).

The paper contains 2 Figures, 3 Tables and 36 References.

Key words: life-form; variability of morphological features; restoration of natural populations.

Acknowledgments: The equipment of the collective use center of the Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk), Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences was used during the study. We used the materials from the “Bioresource Collection of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and “Collections of living plants in open and closed ground” USU 440534.

Funding: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (No 0312-2014-0001).

Referenses

1. Mistretta O, White SD. Introducing two federally listed carbonate - endemic plants onto a disturbed site in the San Bernardino Mountains, California. In: *Southwestern rare and endangered plants: Proceedings of the Third Conference*, September 25-28. Maschinski J and Holter L, editors. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 2001. pp. 20-26.
2. Ren H, Zhang Q, Wang Z, Guo Q, Wang J, Liu N, Liang K. Conservation and possible reintroduction of an endangered plant based on an analysis of community ecology: a case study of *Primulina tabacum* Hance in Chinapsbi. *Plant Species Biology*. 2010;25:43-50. doi: [10.1111/j.1442-1984.2009.00261.x](https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2009.00261.x)
3. Saw LG, Chua LSL, Suhaida M, Yong WSY, Hamidah M. Conservation of some rare and endangered plants from Peninsular Malaysia. *Kew Bulletin*. 2010;65(4):681-689. doi: [10.1007/s12225-011-9251-6](https://doi.org/10.1007/s12225-011-9251-6)
4. Appelhans M, Wagner W. New and extremely rare species of *Melicope* (Rutaceae) described from Maui. *The Plant Press*. 2016;19(4):12.

5. Elisafenko TV, Dorogina OV. K voprosu o terminologii i vosstanovlenii ischeznuvshikh i ischezayushchikh populyatsiy [On terminology and restoration of disappeared and disappearing populations]. In: *Problemy izucheniya rastitel' nogo pokrova Sibiri. Materialy V nauchnoy konferentsii* [Problems of studying the vegetation cover of Siberia. Proc. of the V Sci. Conf. (Tomsk, Russia, 20-22 October 2015)]. Tomsk: TSU Publishing House; 2015. pp. 283-285. In Russian
6. Akeroyd J, Jackson PW. A handbook for botanic gardens on the reintroduction of plants to the wild. Botanical Gardens Conservation International and IUCN. UK, Richmond Surrey: Descanso House; 1995. 32 p. [Electronic recourse]. Available at: <http://www.botanicgardens.eu/downloads/Handbookonreintroduction.pdf> (assess 12.10.2017)
7. Baskin JM, Walck JL, Baskin CC, Buchele DE. Ecology and Conservation biology of the endangered plant species *Solidago shortii* (Asteraceae). *Native Plants Journal*. 2000;1(1):35-41. doi: [10.3368/npj.1.1.35](https://doi.org/10.3368/npj.1.1.35)
8. Trusty JL, Miller I, Boyd RS, Goertzen LR, Pence VC, Blair BL. *Ex situ* conservation of the federally endangered plant species *Clematis socialis* Kral (Ranunculaceae). *Natural Areas Journal*. 2009;29(4)376-384. doi: [10.3375/043.029.0404](https://doi.org/10.3375/043.029.0404)
9. Choudhury B, Khan LM. Conservation and management of endangered plant species: A case study from Northeast India. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*. 2010;4(Spec. Iss.1):47-53.
10. Dorogina OV, Elisafenko TV, Nechepurenko SB, Achimova AA, Yamtyrov MB. Restorations experience of populations of *Hedysarum theinum* (Fabaceae) in Altai Mountains. *Plant Life of Asian Russia*. 2014;3(15):81-86.
11. Jusaitis M, Polomka L, Sorensen B. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae). *Biological Conservation*. 2004;116(2):251-266. doi: [10.1016/S0006-3207\(03\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00196-4)
12. Reckinger S, Colling G, Matthies D. Restoring populations of the endangered plant *Scorzonera humilis*: influence of site conditions, seed source, and plant stage. *Restoration Ecology*. 2010;18(6):904-913. doi: [10.1111/j.1526-100X.2009.00522.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00522.x)
13. Maunder M. Plant reintroduction: an overview. *Biodiversity and Conservation*. 1992;1(1):51-61. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00700250>
14. Drayton B, Primack R. Rates of success in the reintroduction by four methods of several perennial plant species in eastern Massachusetts. *Restoration Ecology*. 2012;20(3):299-303.
15. Orlov VP, Krasnoborov IM. Brachanthemum Krylova – Brachanthemum krylovianum Serg. Semeystvo Slozhnotsvetnye – Asteraceae [Brachanthemum krylovianum Serg. Asteraceae]. In: *Krasnaya kniga Respubliki Altay (rasteniya)* [The Red Data Book of the Altai Republic]. Krasnoborov IM, editor. Gorno-Altaysk: OAO “Gorno-Altayskaya tipografiya” Publ.; 2007. 272 p. In Russian
16. Pyak AI. O vidakh roda *Brachanthemum* D.C. vo flore Altaya [About *Brachanthemum* D.C species in the flora of the Altai]. *Sistematicheskie zametki po materialam Gerbariya Tomskogo universiteta = Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 1998;90:16-18. In Russian
17. Smirnov SV, Frisen N. Ispol'zovanie molekulyarno–geneticheskogo analiza dlya vyyavleniya gibridov na primere *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae) [The use of molecular-genetic analysis to identify hybrids (the example of *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae))]. In: *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno–prakticheskoy konferentsii* [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia. Proc. of the V Int. Sci. Conf.]. Barnaul: AzBuka Publ.; 2006. pp. 256-258. In Russian
18. Pyak AI. Petrofity Russkogo Altaya [Petrophytes of the Russian Altai]. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2003. 202 p. In Russian

19. Krasnoborov IM. Rod *Brachanthemum* D.C. DC [The genus *Brachanthemum* DC]. In: *Opredelitel' rasteniy Respubliki Altay* [The determinant of plants of the Altai Republic]. Novosibirsk: SO RAN Publ.; 2012. pp. 427-428. In Russian
20. Pyak AI. Osobennosti vyсотного rasprostraneniya *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae) v svyazi s pleystotsenovymi sobyitiyami na Altae [Characteristics of *Brachanthemum baranovii* (Asteraceae) altitudinal distribution in connection with the Pleistocene events in the Altai]. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical Journal*. 1999;84(3):92-103. In Russian
21. Solovjeva VV, Vechernina NA, Tavartkiladze OK, Shmakov AI. *In vitro* regeneration plants of *Brachanthemum baranovii* (Krasch. et Poljak) Krasch. *Izvestiya Altayskogo gosydarstvennogo universiteta = Izvestiya of Altai State University Journal*. 2003;3(29):108-111. In Russian
22. Smirnov SV, Kondo K. Karyotype of *Brachanthemum krylovii* Serg. *Chromosome Botany*. 2013;2:29-30. doi: <http://doi.org/10.3199/iscb.8.29>
23. Semenova GP. Redkie i ischezayushchie vidy flory Sibiri: biologiya, okhrana [Rare and endangered plant species of Siberia: Biology and protection]. Novosibirsk: "Geo" Publ.; 2007. 408 p. In Russian
24. Krashenninikov IM. O rode *Brachanthemum* DC. [On the genus *Brachanthemum* DC]. *Botanicheskie materialy* [Botanical materials]. 1949;11:181-200. In Russian
25. Krylov PN. Flora Zapadnoy Sibiri [Flora of Western Siberia]. Tomsk: Tomsk University Publ.; 1949. Vol. 11. 469 p. In Russian
26. Tsvelev NN. Rod *Brachanthemum* DC. [The genus *Brachanthemum* DC]. In: *Flora SSSR* [The Flora of the USSR]. Moscow-Leningrad: 1961. Vol. 26. pp. 390-397. In Russian
27. Odum EP. Fundamentals of Ecology. Vol. 2. Translated from English Frolova YM; Sokolov VE, editor. Moscow: Mir Publ.; 1986. 376 p. In Russian
28. Vaynagiy IV. O metodike izucheniya semennoy produktivnosti rasteniy [On the method of studying seed productivity of plants]. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical Journal*. 1974;59(6):826-831. In Russian
29. Dyuryagina GP. K metodike introduksii redkikh i ischezayushchikh rasteniy [On the method of introducing rare and endangered plants]. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical Journal*. 1982;67(5):679-687. In Russian
30. Zaytsev GN. Matematicheskiy analiz biologicheskikh dannykh [Mathematical analysis of biological data]. Moscow: Nauka Publ.; 1991. 184 p. In Russian.
31. *U-Wilcoxon-Mann-Whitney test* [Electronic recourse]. Available at: <http://medstatistic.ru/theory/mann.html> (assess 12.10.2017) In Russian
32. Achimova AA, Orlov VP. Redkie rasteniya basseyna r. Shavla (Tsentral'nyy Altay) [Rare plants of the Shavla river (Central Altai)]. In: *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia. Proc. of the IV Int. Sci. Conf. (Barnaul, Russia, 12-14 December 2005). Shmakov AI, editor. Barnaul: Altayskie stranitsy Publ.; 2005. pp. 7-8. In Russian
33. Mazurenko MT. Biomorfologicheskiy metod v introduksii rasteniy [Biomorphological method in plant introduction]. In: *Introduktsiya rasteniy: teoreticheskie, metodicheskie i prikladnye problemy*. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii [Plant introduction: theoretical, methodological and applied problems. Proc. Int. Conf. (Yoshkar-Ola, Russia, 10-14 August 2009)]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gos. tekhn. un-t Publ.; 2009. pp. 47-56. In Russian
34. *Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Altay v 2013 g.* Klimaticheskie osobennosti goda [Report on the state and protection of the environment in the Altai Republic in 2013. Climatic characteristics of the year]. Gorno-Altaysk. 2014. pp. 41-46. [Electronic recourse]. Available at: http://elkurultay.ru/docs/monitoring/2013/doklad_2013.pdf (accessed 05.10.2017) In Russian

35. *Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Altay v 2014 g.* Klimaticheskie osobennosti goda [Report on the state and protection of the environment in the Altai Republic in 2014. Climatic characteristics of the year]. Gorno-Altaysk. 2015. pp. 41-44. [Electronic recourse]. Available at: http://mpr-ra.ru/docs/123/Doklad_2014.pdf (accessed 05.10.2017) In Russian
36. *Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Altay v 2015 g.* Klimaticheskie osobennosti goda [Report on the state and protection of the environment in the Altai Republic in 2015. Climatic characteristics of the year]. Gorno-Altaysk. 2016. pp. 41-44. [Electronic recourse]. Available at: <http://ekologia-ra.ru/publikaczii-doklady> (accessed 05.10.2017) In Russian

*Received 05 September 2017; Revised 10 November 2017;
Accepted 17 January 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Dorogina Olga V, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Deputy Director for Research, Head of the Laboratory of Rare and Endangered Species, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: olga-dorogina@yandex.ru

Zhmud Elena V, Senior Researcher, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Laboratory of Rare and Endangered Species, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: elenazhmu@ngs.ru

Elisafenko Tatiana V, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Rare and Endangered Species, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: tveli@ngs.ru

Kuban Irina N, Junior Researcher, Laboratory of Rare and Endangered Species, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: irinakuban@gmail.com

Achimova Altynai A, Cand. Sci. (Biol.), Director, Gorno-Altai Botanical Garden, Branch of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Region of Shebalino, Kamluck village, Clean Meadow tract, 649218, Republic of Altai, Russian Federation.

E-mail: gabs@ngs.ru

Yamtyrov Maxim B, Researcher, Gorno-Altai Botanical Garden, Branch of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Region of Shebalino, Kamluck village, Clean Meadow tract, 649218, Republic of Altai, Russian Federation.

E-mail: gabs@ngs.ru

УДК 581.524.34

doi: 10.17223/19988591/41/5

Ю.С. Отмахов¹, Т.С. Черникова¹, Б.А. Третьяков²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Антропогенная трансформация растительных сообществ сосновых лесов в городской среде

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00908 А и по программе государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук № 0312-2016-0004, по проекту «Ценоотическое разнообразие растительного покрова Западной Сибири и ее горного обрамления: экологические и географические закономерности формирования».

Рассматривается закономерность антропогенной трансформации растительных лесных сообществ Новосибирского Академгородка. Отмечается общий процесс синантропизации флоры, что приводит к угрозе вытеснения отдельных видов и замене их рудеральными и адвентивными. Естественные сосновые лесные сообщества сменяются на антропогенно измененные. В зависимости от удаленности лесных растительных сообществ от зданий и степени фрагментации выделено три уровня антропогенного стресса: 1. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов, имеющие расстояние до зданий до 100 м, наиболее подвержены антропогенному влиянию на леса. Это более фрагментированные сообщества, в которых увеличивается численность рудеральных видов. 2. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов в зоне застройки с удаленностью от жилых построек более 100 м. В этих сообществах отмечена умеренная антропогенная нагрузка, при этом возрастает доля синантропных видов, что приводит к увеличению общего числа видов. 3. Сообщества березово-сосновых и сосновых осоковых лесов, березово-сосновых и сосновых коротконожковых лесов, березово-сосновых и сосновых разнотравных лесов, березово-сосновых орляковых лесов расположены на расстоянии более 400 м от зданий. Эти лесные сообщества занимают большую территорию, менее фрагментированы и обладают большей устойчивостью к инвазиям. Из них наибольшую устойчивость к инвазиям проявили березово-сосновые орляковые леса.

Ключевые слова: городские леса; антропогенное воздействие; адвентивные растения; синантропные виды; селитебные территории, Новосибирск.

Введение

В настоящее время неуклонно растет антропогенное воздействие на окружающую среду, это приводит к трансформации растительного покрова, синантропизации и последующему полному уничтожению естественной растительности. Лесам как главному компоненту зеленого покрова придается основное значение, и особое внимание уделяется пониманию механизмов трансформации и устойчивости лесных сообществ [1, 2]. При этом важность изучения городских лесов определяется их экологическим потенциалом, который является важнейшим фактором повышения качества жизненной среды города. Под влиянием высокой антропогенной нагрузки ухудшается общее состояние лесов, снижаются их защитные, санитарно-гигиенические и эстетические функции. К настоящему времени изучены последствия разнообразных форм химического загрязнения [2, 3], их воздействие на растительность [1, 4], санитарное состояние и возобновление древостоя [5, 6].

Первые исследования территории будущего Новосибирского Академгородка (далее – Академгородка) приурочены к созданию водохранилища и касались в основном зоны затопления [7]. В период строительства научного центра одновременно с постройкой и заселением микрорайонов проводились исследования влияния антропогенных изменений как на саму растительность, так и на численность вредителей, состав почвы и т.д. [8]. И.В. Тараном установлено, что искусственное уплотнение почв, разрушение лесной подстилки, вытаптывание травяного покрова, повреждение подлеска и подроста нарушают водно-воздушный и температурный режим почвы, вызывают ослабление и деградацию лесных растительных сообществ. В результате это приводит в первую очередь к выпадению малостойких растений и увеличению количества рудеральных видов, а при еще большем увеличении нагрузки – к исчезновению травяного яруса и подстилки. При долговременном антропогенном воздействии уплотнение почвы ведет к угнетению подроста, ослаблению и гибели взрослых деревьев, в первую очередь *Populus tremula* L. [9].

Вероятность внедрения адвентивных видов в сообщества уменьшается при увеличении видового богатства ценозов, т.е. увеличиваются степень использования ресурсов и межвидовая конкуренция [10]. Ранее установлена прямая зависимость числа адвентивных видов от типа сообществ и пространственной структуры [11–13]. Наибольшее число адвентивных видов произрастает в периодически нарушаемых открытых сообществах (сегетальные, рудеральные сообщества и т.д.), это связано с низким уровнем межвидовой конкуренции, причем прогнозировать инвазибельность невозможно, так как в разных экологических условиях она определяется сочетанием определенных биотических и абиотических барьеров [14].

Неоднородность и мозаичность химической загрязненности окружающей среды и изменения почв под воздействием антропогенной активности

выявлены в результате исследований 1990–1994 гг., что позволило разработать мероприятия по уходу, сохранению, развитию рекреационных лесов [7, 15] и способы восстановления лесов на территории Академгородка [3], которые в основном так и не были реализованы.

В последнее время изучение растительности окрестностей Академгородка проводилось Н.Н. Лащинским и др. [7]. Однако участки придомовых территорий остались не исследованы, это и послужило основанием для проведения обследования не только участков естественных лесных массивов, но и лесов селитебной территории Академгородка.

Цель данной работы – оценить влияние антропогенной нагрузки на флористический состав лесов и выявить устойчивые к инвазиям лесные сообщества.

Вслед за рядом авторов мы предполагаем, что умеренное антропогенное влияние приводит к увеличению видового богатства в лесных сообществах. Известно, что при умеренной нарушенности увеличивается число видов, особенно вдоль лесных дорожек [16–18]. Также мы ожидаем снижения числа видов естественной флоры в городских условиях, что подтверждается рядом публикаций [4, 19].

Мы предполагаем, что участки леса большей площади более устойчивы к инвазиям, даже в городских условиях. Многие авторы сходятся во мнении, что краевые эффекты перестают сказываться на расстояниях от 30 до 70 м, а доля видов естественной флоры в сообществах является показателем их устойчивости. Ранее показано, что на участок леса площадью 1 га приходится 1% видов естественной флоры, на участок площадью 2 га – 14%, участок площадью 3 га – 24%, участок площадью 5 га – 36%, участок площадью 10 га – 52% и участок площадью 50 га – 77% [6, 19, 20].

Материалы и методики исследования

Новосибирск (55°00'01"N, 82°55'00"E) является крупнейшим городом Западной Сибири. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе в течение года наблюдается в Калининском, Кировском, Ленинском, Железнодорожном районах города Новосибирска. [21]. Исследуемая территория находится в Советском районе (рис. 1) и характеризуется низким уровнем загрязнения. К тому же северо-западная пространственная ориентация поверхностных водных потоков позволяет выносить загрязнения, поступающие на почвенную поверхность, за пределы жилых застроек [7]. Академгородок расположен в 20 км к югу от центра Новосибирска на правом берегу Обского водохранилища. Территория относится к Приобскому сосново-боровому лесостепному району [22]. В ходе работы исследованы растительные сообщества, находящиеся на разном удалении от зоны застройки. Площадь исследованной территории составляет около 2 500 га, она расположена в западной части Академгородка,

которая рассечена улицами и магистралями на несколько фрагментов. На этой территории проживает более 50 тыс. человек.

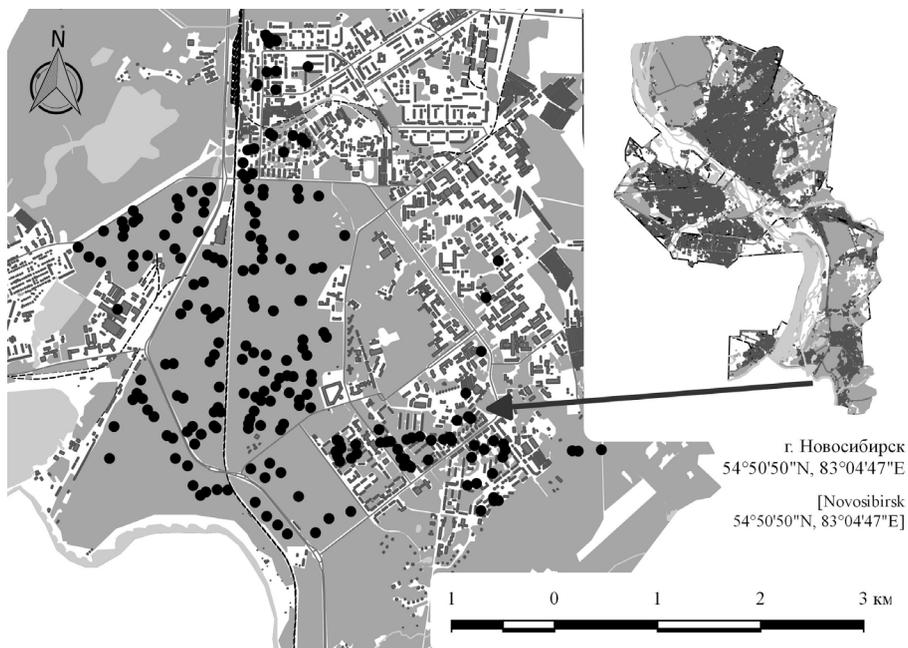


Рис. 1. Территория исследования. Точками показаны места расположения пробных площадей геоботанических описаний

[Fig. 1. Map of the study area. The dots show the locations of sample plots of geobotanical descriptions]

Исследованная «зеленая зона» имеет свои особенности: участки лесных массивов не только примыкают к Академгородку, но и включены в зону застройки. Стоит отметить, что в отличие от распространенной практики, подразумевающей полную очистку стройплощадки от деревьев и кустарников, при строительстве Академгородка в свое время принимались определенные меры по защите естественных массивов леса [23, 24], что дает нам возможность с уверенностью говорить о лесных сообществах во дворах жилых домов как естественных островках растительности. Антропогенное воздействие на лесные участки выражается в формировании сети дорожек сквозь лес и, как следствие, вытаптывании растительного покрова. Зачастую спонтанная неконтролируемая посещаемость лесов отдыхающими приводит к пожарам и загрязнению бытовым мусором отдельных участков. Леса селитебной территории испытывают наиболее сильное антропогенное воздействие, выражающееся как в вытаптывании и загрязнении, так и в привнесении в естественные сообщества, в том числе намеренном, чуждых видов.

Почвы естественных ландшафтов Академгородка преимущественно дерново-подзолистые и серые лесные. Дерново-подзолистые почвы сосновых лесов наиболее бедны содержанием гумуса и не загрязнены тяжелыми металлами. Серые лесные почвы березовых лесов и вторичных лугов на повышенных формах рельефа являются самыми плодородными. Подстилаящая поверхность сложена древнеаллювиальными песками и суглинками [25].

На территории выделяют урбостратифицированные почвы – урбаноземы, резко отличающиеся от нативных почв не только по генезису и морфологии, но и по составу и свойствам [7]. Для верхней части профиля урбаноземов характерно наличие двух слоев: верхнего – мелкозема с высоким содержанием гумуса и нижнего – засыпанного строительным мусором. Урбаноземы загрязнены тяжелыми металлами, содержание подвижной формы которых превышает фон в 4–20 раз [25].

Климат рассматриваемого района резко континентальный с умеренной обеспеченностью теплом и влагой [26]. В Новосибирске средняя продолжительность солнечного сияния за год составляет 2 088 ч. Средняя температура воздуха в январе $-18,3^{\circ}\text{C}$, в июле $+19,2^{\circ}\text{C}$. Средняя продолжительность безморозного периода колеблется в пределах 124–142 дней. Во все периоды года преобладают южные и юго-западные ветры. Среднегодовое количество осадков составляет 440 мм. Годовые суммы формируются главным образом за счет летних дождевых осадков – около 320 мм. Средняя высота снежного покрова составляет 40 см [27].

В основу работы легли 232 геоботанических описания, выполненных в течение полевых сезонов 2015–2016 гг. Описания в лесных сообществах сделаны на площадках 25×25 м (625 м^2). В отдельных случаях размер площадки зависел от ее местоположения, так как в городских условиях не всегда представляется возможность полноценно заложить учетные площадки, и в этих случаях размер площадок составлял 10×10 м (100 м^2) – это, как правило, разреженные лесные участки между домами. Древесный ярус в этих условиях учитывался на площади 250–400 м^2 . При описании растительных сообществ мы придерживались общепринятых геоботанических методов [28]. В каждом описании учитывались все сосудистые растения. Названия таксонов высших сосудистых растений приводятся по сводке С.К. Черепанова [29], книге А.И. Шмакова [30]; мохообразных – по сводке М.С. Ignatov et al. [31]. Классификация растительности проведена согласно доминантному подходу [32].

В сообществах выявлен состав аборигенных, адвентивных и рудеральных видов. Категория аборигенных видов, или видов естественной флоры, определяется как растения, появившиеся на данной территории без влияния человека [33]. Под адвентивными видами понимаются виды, присутствие которых на данной территории не связано с естественным ходом флорогенеза, а является результатом прямой или косвенной деятельности человека [34]. Группа рудеральных видов приурочена к нарушенным местообитаниям [35].

Нами выделено три уровня антропогенного стресса: 1) наиболее высокий – в центре Академгородка с наименьшей удаленностью растительных сообществ от жилых домов (до 100 м); 2) средний уровень – в 500 м от центра Академгородка и с удаленностью от жилых домов на расстояние 120–130 м; 3) для сообществ с низким уровнем стресса характерно максимальное удаление от центра Академгородка и жилых домов (свыше 400 м). Для оценки уровня антропогенного стресса учитывалась дистанция от центра площадки до ближайших зданий и строений. Данные о сооружениях в виде полигональных объектов получены из открытых источников Open Street Map [36], при этом точками отсчета выбраны центроиды ближайших 10 полигонов. Координаты центра геоботанических описаний определялись с помощью GPS/ГЛОНАС-приемника Garmin. Матрица расстояний рассчитана в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS (код проекции EPSG:32644). Для этих данных о расстояниях рассчитаны дескриптивные статистики по матрице размерности 2×2 320.

Растительность представляет многомерную систему, метрика которой определяется количеством описаний и числом видов в них, а признаками являются количественные характеристики видов, присутствующих в описании, в нашем случае это проективное покрытие, выраженное в процентах [37]. Классификация растительности проведена дивизимным методом кластеризации (DIANA), при этом учитывались все виды растений, зафиксированные в пределах учетных площадок, размерность матрицы составила 232×342 . Базовая цель этого анализа состоит в том, чтобы объединить сообщества в группы по принципу схожести флористического состава в каждой группе.

Связь между общим числом видов, числом видов естественной флоры, числом рудеральных и адвентивных видов и площадью занимаемого участка каждым типом сообществ оценивали с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Так как объем выборки для выбранных параметров является малым ($n \leq 30$), то проверка нулевой гипотезы осуществлялась путем сравнения вычисленного коэффициента корреляции с критическими значениями, взятым из статистических таблиц при установленном уровне значимости ($p < 0,05$). Сходство между объектами вычислено при помощи меры сходства Брея–Кертиса [38]. Все расчеты произведены в статистической среде R, пакеты ‘vegan’ [39], ‘GGally’ [40], ‘yarr’ [41].

Результаты исследования и обсуждение

В составе флоры лесов на изученной территории Академгородка нами отмечено 342 вида высших растений, из них 66 рудеральных и 72 адвентивных вида, а также 9 напочвенных листостебельных мхов.

Проведенный кластерный анализ показал не только сходство видового состава лесных сообществ, но и четкое распределение по уровню антропо-

генного стресса. Кластерный анализ сообществ выявил на первом уровне 5 групп (рис. 2), при этом на втором уровне также отмечается наибольшее различие кластеров, где и выделено 6 групп.

Две группы (1–2-й кластеры) расположены непосредственно в зоне застройки. Первый кластер сформировали березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса (антропогенно трансформированные). Во второй кластер объединены березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса, расположенные в зоне застройки.

Четыре группы (3–6-й кластеры) располагаются в обособленных лесных массивах, разделенных магистральными авто- и железной дорогами. В третий кластер вошли березово-сосновые и сосновые осоковые леса (расположены вблизи главных магистралей). Березово-сосновые и сосновые коротконожковые леса образовали четвертый кластер (расположены вдали от главных магистралей). Пятый кластер объединил березово-сосновые и сосновые разнотравные леса (расположены в центральной части лесного массива) и шестой – березово-сосновые орляковые леса (занимают наиболее увлажненные местообитания).

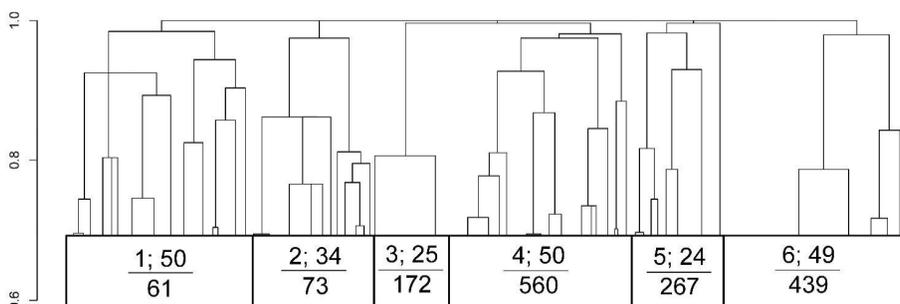


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа растительных сообществ. По оси X – растительные сообщества, по оси Y – мера различия. Блоками выделена группировка на 6 кластеров. Номера геоботанических описаний не приводятся. Цифрами обозначены: в числителе – номер кластера (типа растительного сообщества); число описаний данного типа; в знаменателе – исследованная площадь данного кластера, га

[Fig. 2. Dendrogram of six clusters resulting from the Divisive Analysis (the Bray-Curtis distance). On the X-axis - Vegetation relevés; on the Y-axis - Dissimilarity. The numbers are: in the numerator - Plant community type (cluster number); the number of vegetation relevés of this type; in the denominator - The studied area of this cluster, ha]

Лесные сообщества в городской среде являются в той или иной степени трансформированными по сравнению с такими же сообществами, расположенными вдали от урбанизированных территорий. В Академгородке формируется своеобразная группа антропогенно трансформированных сообществ, развивающихся на селитебных территориях, где максимально проявляется влияние антропогенного фактора, и в зональных неурбанизированных районах.

Расстояния между растительными сообществами и строениями для каждого из шести массивов геоботанических описаний отражены в виде ящичной диаграммы (рис. 3).

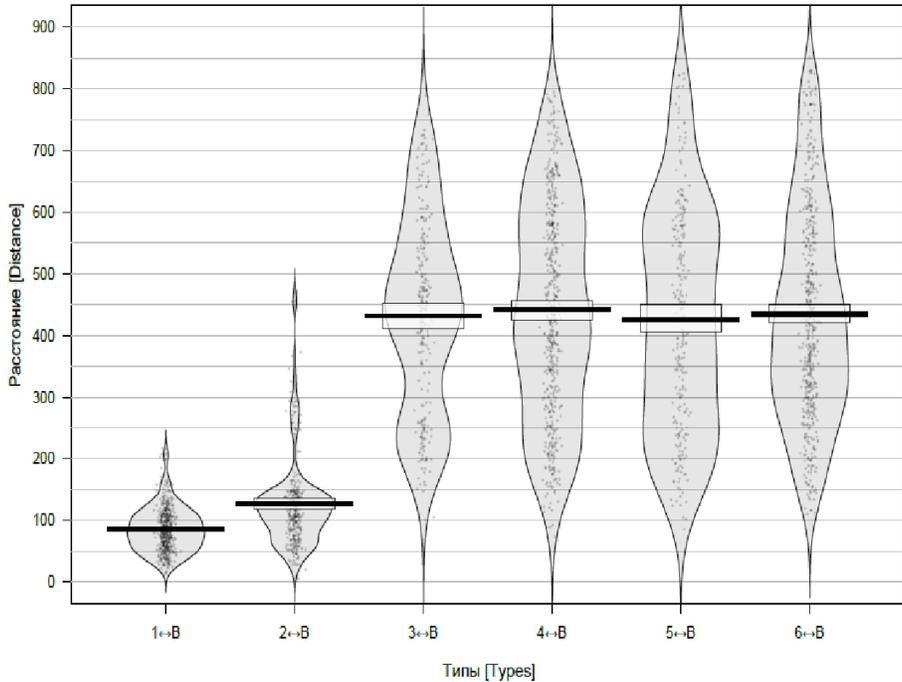


Рис. 3. Расстояния между лесными сообществами и зданиями (1↔B, 2↔B, 3↔B и т.д.). По оси X – типы лесных сообществ; по оси Y – расстояния между типами лесных сообществ и зданиями, м. Точки – исходные данные (показывают разброс данных); серые полигоны – плотность точек; горизонтальная черная полоска – медиана; «ящик» – верхний квартиль и нижний квартиль

[Fig. 3. The distance between plant communities and buildings (1↔B, 2↔B, 3↔B, etc.). On the X - axis - Vegetation types; on the Y - axis - Distance between vegetation types and buildings, in meters. The dots indicate source data (show data scattering); the density of the dots is gray polygons; the Median is a black stripe; the “Box” is the upper quartile and the lower quartile]

Как отмечено выше, на основе этих расстояний выделено три уровня антропогенного стресса. По точкам, расположенным внутри «ящиков», можно судить, какие из групп наиболее удалены от селитебной территории. Чем выше расположена средняя линия (медиана), тем дальше находятся сообщества от зданий. На диаграмме лидерами являются сообщества третьего-шестого кластеров: березово-сосновые и сосновые осоковые леса; березово-сосновые и сосновые короткокожковые леса; березово-сосновые и сосновые разнотравные леса; березово-сосновые орляковые леса. В среднем эти сообщества расположены на расстоянии более 400 м от зданий. Плотность то-

чек березово-сосновых и сосновых осоковых лесов имеет прерывистый характер, это связано с тем, что такие сообщества сконцентрированы на двух противоположных участках; наибольшая скученность точек отмечена для березово-сосновых орляковых лесов, так как большинство геоботанических описаний расположены в одном массиве.

По высоте самих «ящиков» можно судить о том, насколько компактно расположены сообщества. Наиболее сгруппированы в пространстве геоботанические описания, расположенные на селитебной территории, на это указывает и плотность точек. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов, имеющие наименьшее расстояние до зданий, в среднем до 100 м, наиболее подвержены антропогенному влиянию на леса, относятся к первому уровню антропогенного стресса. Средний уровень стресса характеризуется удаленностью лесных сообществ от жилых построек (в среднем более 100 м), к этому уровню относятся березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса в зоне застройки.

Рассмотрим сообщества, объединенные в кластеры.

1. Березово-сосновые разнотравные леса (антропогенно трансформированные).

В первую группу вошли участки, наиболее подверженные антропогенной нагрузке, с наименьшей площадью, всего 61 га, и сильной фрагментацией. В лесах этой группы расположены детские площадки, асфальтированные или отсыпанные дорожки. В перечне наиболее распространенных видов кустарникового и травянистого ярусов в основном присутствуют рудеральные и адвентивные виды.

Сомкнутость древесного яруса до 30%; он представлен в основном *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Pinus sylvestris*. Во второй древесный ярус входят *Tilia cordata*, *Quercus robur* высотой 5–6 метров.

Кустарниковый ярус достаточно развит (до 30%): *Sorbus sibirica*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*, *Acer negundo*, *Acer ginnala*.

Проективное покрытие травяного яруса составляет 60–70%. В нем наиболее распространены рудеральные и адвентивные виды: *Taraxacum officinale*, *Plantago major*, *Poa annua*, *Amoria repens*. Встречаются: *Medicago falcata*, *Medicago sativa*, *Polygonum aviculare*, *Bromopsis inermis*, *Achillea asiatica*, *Amoria hybrida*, *Trifolium pratense*.

Видовая насыщенность 12–41 вида на 100 м². Всего нами обнаружено 195 видов, 56 из которых – сорные (*Elytrigia repens*, *Berteroa incana*, *Convolvulus arvensis* и др.) и 40 – адвентивные (*Cichorium intybus*, *Lactuca serriola*, *Echium vulgare* и др.).

2. Березово-сосновые разнотравные леса (расположены в зоне застройки).

В эту группу вошли умеренно нарушенные естественные березово-сосновые леса площадью 73 га внутри селитебных территорий, фрагментированные дорожками и тропинками, а также сосново-березовые разнотравные

сообщества. В составе травянистой растительности оказались как типичные лесные виды, так и адвентивные с рудеральными.

Проективное покрытие основных доминантов древесного яруса березово-сосновых сообществ составляет: *Pinus sylvestris* – до 45% и *Betula pendula* – до 30%; подрост практически отсутствует. В сосново-березовых сообществах сомкнутость древесного яруса достигает 53%. Проективное покрытие *Betula pendula* до 45% и *Pinus sylvestris* до 8%, встречается *Populus tremula*. Во втором древесном ярусе присутствуют *Tilia cordata*, *Quercus robur* высотой 5–6 метров.

Проективное покрытие кустарникового яруса до 20%, он представлен *Padus avium*, *Sorbus sibirica*, *Acer ginnala*, *Syringa josikaea*.

Среди травянистого яруса преобладают адвентивные и рудеральные виды: *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Geranium sibiricum*, *Chelidonium majus*, *Impatiens glandulifera*, *Arctium lappa*. В отдельных сообществах отмечено доминирование *Impatiens parviflora* – до 50%, *Urtica dioica* – до 70% и *Plantago major* – до 70%.

Видовая насыщенность от 13 до 52 видов на 100 м². Общее число обнаруженных видов 285, однако число сорных видов снижается до 49; изменяется видовой состав по сравнению с сообществами первой группы. Отмечено 23 адвентивных вида.

3. Березово-сосновые и сосновые осоковые леса (расположены вблизи главных магистралей).

Сообщества этой группы по площади занимают 172 га леса с небольшой фрагментацией. Они обычно расположены на выровненных участках и склонах, хотя встречались как на вершинах дюн, так и в междюнных понижениях, территориально расположены ближе к магистральным дорогам и железнодорожным путям. Сомкнутость древесного яруса 70–75%, он представлен в основном *Pinus sylvestris*, хотя зачастую присутствуют *Betula pendula*, а также посадки *Picea obovata*. Во всех сообществах возобновление незначительное.

Проективное покрытие кустарникового яруса достигает 20%, значительную долю в нем составляют *Sorbus sibirica* и *Caragana arborescens*.

В травяном ярусе (покрытие 50–70%) значительную долю занимает *Carex macroura* *Rubus saxatilis*, присутствуют *Brachypodium pinnatum* и *Calamagrostis arundinacea*. В двух сообществах отмечена значительная доля *Rubus idaeus* (65–70%). В одном сообществе отмечено значительное участие *Urtica dioica*, расположенного вблизи тропинок.

Моховой ярус, представленный *Pleurozium schreberi*, присутствует в небольшом количестве, редко превышает 2–5%, хотя в двух сообществах его покрытие составляет 50%. Чаще всего образует куртины на валежнике и старых поваленных деревьях. Хвойная подстилка в сообществах мощностью 3–5 см.

Видовая насыщенность в среднем 32–47 видов на 625 м². Надо отметить, что нами выявлено 144 вида, из них сорных – 6, адвентивных – 24.

4. Березово-сосновые и сосновые короткокожковые леса (расположены вдали от главных магистралей).

Сообщества четвертой группы занимают наибольшую площадь (560 га), мало фрагментированы и наиболее удалены от главных магистралей. Расположены не только на склонах и выровненных участках, но и в междюнных понижениях и на вершинах дюн. Древесный ярус представлен в основном *Pinus sylvestris* с небольшим присутствием *Betula pendula*. Сомкнутость 65–70%, возобновление невелико, менее 5%.

Кустарниковый ярус слабо развит, проективное покрытие 10–15%, и представлен в значительной мере *Caragana arborescens* с небольшой примесью *Sorbus sibirica* и *Rosa majalis*. В отдельных сообществах кустарниковый ярус достигает 30% и представлен *Salix caprea*, *Viburnum opulus* и *Frangula alnus*.

Основные доминанты в травяном ярусе: *Brachypodium pinnatum* – 20–40%, *Carex macroura* – 10–25%, *Rubus saxatilis* – 5–10% и *Calamagrostis arundinacea* – 3–5%.

Мохово-лишайниковый ярус распределен неравномерно, формируя главным образом куртинки на валежнике. В большей части его проективное покрытие составляет 1–5%, но на части площадок достигает 50–70%. Представлен в основном *Pleurozium schreberi*.

Видовая насыщенность 18–54 вида на 625 м². Общая численность видов увеличивается в сообществах, где увеличивается проективное покрытие древесного и кустарникового, а также высота травяного ярусов. Всего обнаружен 151 вид, из них сорных видов – 9, адвентивных – 24.

5. Березово-сосновые и сосновые разнотравные леса (расположены в центральной части лесного массива).

Данная группа на изученной территории занимает 267 га. Сообщества расположены чаще всего на повышениях и выровненных участках, преимущественно в центральной части изученного лесного массива, фрагментация небольшая.

Покрытие древесного яруса 60–75%. Представлен он *Pinus sylvestris* с присутствием *Betula pendula* (менее 10%). Проективное покрытие подроста до 5%.

Кустарниковый ярус выражен слабо, занимает около 1% и представлен в основном *Caragana arborescens* и *Sorbus sibirica*.

Травяной ярус занимает в среднем 50–60%, в отдельных сообществах достигает 80%. В основном представлен *Carex macroura* и *Calamagrostis arundinacea*, но явного преобладания над другими видами нет.

Ярус мхов главным образом располагается в приствольной части и на валежнике, в отдельных сообществах его проективное покрытие достигает 40%.

Видовая насыщенность 24–57 видов на 625 м². Нами обнаружено 132 вида, из них 6 сорных и 21 адвентивных.

6. Березово-сосновые орляковые леса (занимают наиболее увлажненные местообитания).

Эта группа по площади занимает 439 га. Сообщества расположены на склонах, в низинах, увлажненных местах южной части исследованного массива.

Покрытие древесного яруса 65–70%. Основу его составляют *Pinus sylvestris* – 40% и *Betula pendula* – 20–25%, иногда в понижениях встречается *Betula pubescens*. Подрост меньше 1%.

Кустарниковый ярус занимает 20–30%, в отдельных сообществах до 50%. Представлен преимущественно *Sorbus sibirica* и *Caragana arborescens*.

Покрытие травяного яруса составляет 80–85%. Доминирует *Pteridium pinetorum*, его проективное покрытие достигает 70%. Значительную долю также занимают *Carex macroura* и *Brachypodium pinnatum*.

Моховой ярус слабо выражен, мхи встречались на валежнике и пнях, лишь в исключительных случаях покрывая 50% поверхности.

Видовая насыщенность 13–58 видов на 625 м². В данной группе выявлено 154 вида, 5 из них рудеральные и 24 адвентивные, что является наименьшим результатом среди выявленных групп. Низкая доля сорных и адвентивных видов в составе травостоя позволяет нам характеризовать эту группу сообществ как более устойчивые к антропогенной нагрузке вследствие высококонкурентных способностей *Pteridium pinetorum* [42].

Наше предположение о том, что умеренное антропогенное влияние приводит к увеличению видового богатства, подтвердилось. Наибольшее число видов (285) обнаружено в сообществах с умеренной нарушенностью в березово-сосновых разнотравных лесах (в зоне застройки); необходимо отметить, что увеличение числа видов произошло за счет рудеральных. Однако второе место по общему числу видов обнаружено в березово-сосновых разнотравных лесах (антропогенно трансформированных) с наиболее высоким уровнем антропогенного воздействия, что противоречит нашим представлениям о негативном влиянии человека. Хотя при более внимательном рассмотрении мы видим наименьшее число естественных видов (99) по сравнению с другими типами леса, высокое число видов объясняется наличием большого числа рудеральных (56) и адвентивных видов (40).

Несмотря на различную площадь лесов, менее подверженных антропогенной нагрузке, число видов незначительно различается: так, число рудеральных составляет 5–9 видов, а число адвентивных – 21–24 вида, при этом число видов естественной флоры составляет 105–125.

Мы ожидали обнаружить четкую зависимость устойчивости сообществ и площади лесов: чем больше площадь леса, тем устойчивее сообщества. Это предположение подтвердилось, хоть и слабой, отрицательной корреляцией (–0,72) между площадью лесов и числом рудеральных видов, т.е. чем больше площадь леса, тем меньше доля адвентивных видов. Из этого следует, что лесные сообщества, занимающие большую площадь, наиболее устойчивы к антропогенному воздействию.

Следует отметить корреляцию между общим числом всех видов и числом видов естественной флоры (0,87), а также числом рудеральных видов (0,81). В первом случае увеличение рудеральных видов приводит к увеличению общей численности видов в сообществах, во втором – с уменьшением

общего числа видов уменьшается численность видов естественной флоры. Корреляционная связь между остальными показателями ценологических связей не достигает уровня статистической значимости.

Таким образом, лесные сообщества, которые занимают большую территорию и менее фрагментированы, обладают большей устойчивостью к инвазиям. Слабо трансформированные леса (березово-сосновые и сосновые осоковые леса, березово-сосновые и сосновые коротконожковые леса) площадью от 172 га до 560 га с низким антропогенным влиянием менее подвержены деградации. В трех группах (березово-сосновые и сосновые осоковые, березово-сосновые и сосновые коротконожковые и березово-сосновые и сосновые разнотравные леса) доля видов естественной флоры составляет 87–89%. В березово-сосновых орляковых лесах доля видов естественной флоры – 94%.

В сообществах, которые более фрагментированы, увеличивается численность рудеральных видов, что приводит к увеличению общей численности этих фитоценозов. В районах жилой застройки выявлены антропогенно измененные сообщества березово-сосновых и сосново-березовых лесов общей площадью 61 га, в которых доля видов естественной флоры составляет 58%.

При умеренной антропогенной нагрузке на березово-сосновые разнотравные леса, расположенные в зоне застройки, площадь которых составляет 73 га, возрастает доля синантропных видов до 30%, что приводит к увеличению общего числа видов.

Заключение

На изученной территории Новосибирского Академгородка нами отмечено 342 вида высших сосудистых растений, из них 66 рудеральных и 72 адвентивных вида, а также 9 видов листостебельных мхов. В результате проведенных исследований выявлено увеличение деградации сообществ по мере приближения к селитебной территории. Однако при умеренной антропогенной нагрузке наблюдается увеличение видового богатства сообществ. Лесные массивы с большой площадью и низким уровнем антропогенного стресса достаточно устойчивы к инвазиям. Следует отметить, что наибольшей устойчивостью обладают березово-сосновые орляковые леса.

Авторы благодарят канд. биол. наук, н.с. лаборатории экологии и геоботаники М.А. Полякову за рекомендации в процессе работы над статьей и д-ра биол. наук, г.н.с. лаборатории экологии и геоботаники Н.Н. Лащинского (Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск) за ценные критические замечания по флористическому составу растительных сообществ.

Литература

1. Бурова Н.В., Феклистова П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск : Изд-во Архангельского гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.

2. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. 200 с.
3. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. 119 с.
4. Malmivaara-Lämsä M., Hamberg L., Löfström I., Vanha-Majamaa I., Niemelä J. Trampling tolerance of understorey vegetation in different hemiboreal urban forest site types in Finland // *Urban ecosystems*. 2008. Vol. 11. PP. 1–16.
5. Селочник Н.Н. Факторы деградации лесных экосистем // *Лесоведение*. 2008. № 5. С. 52–60.
6. Шавнин С.А., Веселкин Д.В., Воробейчик Е.Л., Галако В.А., Власенко В.Э. Факторы трансформации сосновых насаждений в районе города Екатеринбурга // *Лесоведение*. 2015. № 5. С. 346–355.
7. Динамика экосистем Новосибирского Академгородка / отв. ред. И.Ф. Жимулев. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 438 с.
8. Зубкус Л.П., Скворцова А.В., Кормачева Т.Н. Озеленение Новосибирска. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1962. 340 с.
9. Таран И.В., Спиридонов В.Н. Устойчивость рекреационных лесов. Новосибирск : Наука, 1977. 179 с.
10. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen, London, 1958. 181 p.
11. Vila M., Pino J., Font X. Regional assessment of plant invasions across different habitat types // *Journal of Vegetation Science*. 2007. Vol. 18. PP. 35–42.
12. Brown R.L., Peet R.K. Diversity and invisibility of Southern Appalachian plant communities // *Ecology*. 2003. Vol. 84, № 1. PP. 32–39.
13. Fridley J.D., Brown R.L., Bruno J.E. Null models of exotic invasion and scale-dependent patterns of native and exotic species richness // *Ecology*. 2004. Vol. 85, № 12. PP. 3215–3222.
14. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Адвентивизация растительности в призме идей современной экологии // *Журнал общей биологии*. 2002. Т. 63, № 6. С. 500–508.
15. Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском Научном Центре СО РАН. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1995. 251 с.
16. Kessler M. Maximum plant-community endemism at intermediate intensities of anthropogenic disturbance in Bolivian montane forests // *Conservation biology*. 2001. Vol. 15. 634–641.
17. Westphal C. Theoretische Gedanken und beispielhafte Untersuchungen zur Naturnähe von Wäldern im Staatlichen Forstamt Sellhorn (Naturschutzgebiet Lüneburger Heide) // *Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A*. 2001. Bd. 174. S. 1–189.
18. Deutschewitz K., Lausch A., Kühn I., Klotz S. Native and alien plant species richness in relation to spatial heterogeneity on a regional scale in Germany // *Global Ecology and Biogeography*. 2003 Vol. 12. PP. 299–311.
19. Ewers R.M., Didham R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation // *Biological reviews*. 2006. Vol. 81. PP. 117–142.
20. Didham R.K., Lawton J.H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments // *Biotropica*. 1999. Vol. 31 (1). PP. 17–30.
21. Пиквин В.М., Чиндяева Л.Н. Экологическая инфраструктура сибирского города (на примере Новосибирской агломерации). 2-е изд., доп. Новосибирск : Сибпринт, 2005. 194 с.
22. Крылов Г.В. Леса Западной Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 255 с.
23. Природа Академгородка: 50 лет спустя / отв. ред. И.Ф. Жимулев. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. 250 с.

24. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / науч. ред. И.Ю. Коропачинский, Е.В. Банаев. Новосибирск : Гео, 2014. 492 с.
25. Сысо А.И., Смоленцев Б.А., Якименко В.Н. Почвенный покров Новосибирского Академгородка и его экологическая оценка // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17, № 3. С. 363–378.
26. Агроклиматические ресурсы Новосибирской области. Л. : Гидрометиздат, 1971. 155 с.
27. Луцицкая И.О., Белая Н.И., Арбузов С.А. Климат Новосибирска и его изменения. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
28. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника / ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М. ; Л. : Изд-во Наука, 1964. Т. 3. С. 39–62.
29. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья-95, 1995. 992 с.
30. Шмаков А.И. Определитель папоротников России. 2-е изд. Барнаул : АРТИКА, 2009. 126 с.
31. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A., Abolina A., Akatova T.V., Baisheva E.Z., Bardunov L.V., Baryakina E.A., Belkina O.A., Bezgodov A.G., Boychuk M.A., Cherdantseva V.Ya., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dyachenko A.P., Fedosov V.E., Goldberg I.L., Ivanova E.I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S.G., Kharzinov Z.Kh., Kurbatova L.E., Maksimov A.I., Mamatkulov U.K., Manakyan V.A., Maslovsky O.M., Napreenko M.G., Otnyukova T.N., Partyka L.Ya., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Rykovsky G.F., Tubanova D.Ya., Zheleznova G.V., Zolotov V.I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. 2006. Vol. 15. PP. 1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01.
32. Александрова В.Д. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в различных геоботанических школах. Л. : Наука, 1969. 275 с.
33. Pyšek P., Richardson D.M., Rejmánek M., Webster G.L., Williamson M., Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists // *Taxon*. 2004. Vol. 53, № 1. PP. 131–143.
34. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmanek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // *Diversity and definitions*. 2000. Vol. 6. PP. 93–107.
35. Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Л. : Наука, 1983. 454 с.
36. Open Street Map project. URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 31.03.2017).
37. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л. : ЛГУ, 1984. 288 с.
38. Bray R.J., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin // *Ecological monographs*. 1957. Vol. 27. PP. 325–349.
39. Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H., Szoecs E. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-2. Date 2017-01-17. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.
40. Schloerke B., Crowley J., Cook D., Hofmann H., Wickham H., Briatte F., Marbach M., Thoen E., Elberg A., Larmarange J. *GGally: Extension to 'ggplot2' R package* Version 1.3.0. Date 2016-11-13. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/GGally/GGally.pdf>.
41. Phillips N. A Companion to the e-Book «YaRrr!: The Pirate's Guide to R» R package Version 0.1.4. Date 2017-02-07. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/yarr/yarr.pdf>.
42. Ершова Э.А. Антропогенная трансформация в пригородных сообществах с участием в травостое папоротника орляка (*Pteridium pinetorum*) // *Растительный мир Азиатской России*. 2012. Т. 1, № 2. С. 132–138.

Поступила в редакцию 06.06.2017 г.; повторно 17.01.2018 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Авторский коллектив:

Отмахов Юрий Сергеевич – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории экологии и геоботаники ФГБУН Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золото-долинская, 101).

E-mail: otmachov@mail.ru

Черникова Татьяна Сергеевна – канд. биол. наук, н.с. лаборатории экологии и геоботаники ФГБУН Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золото-долинская, 101).

E-mail: hcernika@yandex.ru

Третьяков Борис Андреевич – студент кафедры ботаники, Биологический институт Национального исследовательского Томского государственного университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36).

E-mail: temartret@yandex.ru

For citation: Otmakhov YuS, Chernikova TS, Tretyakov BA. Anthropogenic transformation of vegetation in urban pine forests. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:75-95. doi: 10.17223/19988591/41/5 In Russian, English Summary

Yury S. Otmakhov¹, Tatiyana S. Chernikova¹, Boris A. Tretyakov²

¹ Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Anthropogenic transformation of vegetation in urban pine forests

In the paper, we discuss anthropogenic transformation of forest plant communities in Novosibirsk Akademgorodok. The aim of this study was to evaluate the anthropogenic impact on the floristic composition and to identify forest plant communities resistant to invasions. The explored area is about 2500 hectares, it is located in the western part of Novosibirsk Akademgorodok, which is dissected by streets and roads into several fragments (See Fig. 1). The basis of this work is 232 geobotanical descriptions, carried out during 2015-2016. Descriptions of forest vegetation are made at the sites of 25×25 m (625 m²) and 10×10 m (100 m²) of sparse forest areas between buildings (wood layer was taken into account in the area of 250-400 m²). We took into account all vascular plants. We used the dominant approach to classify vegetation. We identified the composition of native, adventive and ruderal species. The degree of anthropogenic stress was considered on the basis of distances from the center of the site to nearby buildings. The geographical coordinates of the center of geobotanical descriptions were determined using GPS/GLONASS. We identified three degrees of anthropogenic stress (See Fig. 3): 1) the highest is the center of Novosibirsk Akademgorodok with the lowest remoteness of plant communities from residential buildings (up to 100 m); 2) the average is 500 m from the Akademgorodok center, and the remoteness from residential buildings at the distance of 120-130 m; 3) low degree of stress is the maximum distance from the center of Novosibirsk Akademgorodok and residential buildings (over 400 m). Vegetation was classified by clustering (DIANA), the matrix of dimension was 232×354. We used Spearman's correlation coefficient to assess the relationship between the total number of species, the number of natural flora species, the number of ruderal and adventive species and the area occupied by each community type. The parameters are statistically significant (p<0.05). The similarity between the objects was computed using the Bray-Curtis similarity measure. All calculations are performed using the software R.

We identified the types of plant communities within the studied area (See Fig. 2).

1. Anthropogenic birch-pine forests. The closeness to the forest is 30%: *Betula*

pendula, *Populus tremula* and *Pinus sylvestris*. The shrub layer cover is 30%: *Sorbus sibirica*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*, *Acer negundo* and *Acer ginnala*. In the same layer are *Tilia cordata* and *Quercus robur*. The herb layer cover is 60-70%. Among these common ruderal and adventive species are *Taraxacum officinale*, *Plantago major*, *Poa annua* and *Amoria repens*. Species richness is 12-41 species per 100 m². We found 195 species, 56 of which are weed (*Elytrigia repens*, *Berteroa incana*, *Convolvulus arvensis*, etc.) and 40 are adventive (*Cichorium intybus*). **2. Birch-pine forests in the residential area.** The closeness to the forest is 75%: *Betula pendula* is up to 40% and *Pinus sylvestris* is up to 8%, *Populus tremula* is also encountered. The cover shrub layer is 20%: *Padus avium*, *Sorbus sibirica*, *Acer ginnala* and *Syringa josikaea*. This layer is composed of *Tilia cordata* and *Quercus robur*. The grass layer is dominated by adventive and ruderal species: *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Geranium sibiricum*, *Chelidonium majus*, *Impatiens glandulifera*, *Aegopodium podagraria* and *Arctium lappa*. Species richness is from 13 to 52 species per 100 m². The number of species is 285, the number of weed species is 49 and 23 alien species. **3. Birch-pine and pine sedge forests.** The closeness to the forest is 70-75%: *Pinus sylvestris*, often *Betula pendula*, and there are plantations of *Picea obovata*. The cover shrub layer is 20%: *Sorbus sibirica* and *Caragana arborescens*. The grass layer is dominated by *Rubus saxatilis* *Carex macroura*, there are *Brachypodium pinnatum* and *Calamagrostis arundinacea*. The moss and lichen layer is represented by *Pleurozium schreberi*. It forms clumps on old fallen trees. Coniferous litter is found in communities with a capacity of 3-5cm. Species richness is, on average, 32 to 47 species per 625 m². We identified 144 species, including 6 weed and 24 adventive ones. **4. Birch-pine and pine tor-grass forests.** The closeness to the forest is 65-70%; the undergrowth is less than 5%. The cover shrub layer is 10-15%: *Caragana arborescens*, *Sorbus sibirica* and *Rosa majalis*. The vegetation shrub layer is up to 30%: *Salix caprea*, *Viburnum opulus* and *Frangula alnus*. The grass layer is dominated by *Brachypodium pinnatum* 20-40%, *Carex macroura* - 10-25%, *Rubus saxatilis* - 5-10% and *Calamagrostis arundinacea* - 3-5%. The moss and lichen layer forms specimens on the fallen trees. Its projective cover is 1-5%. Species richness is 18-54 species per 625 m². In total, 151 species were discovered, including 9 weed and 24 adventive ones. **5. Birch-pine and pine grass forests.** The forest cover is 60-75%: *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* (less than 10%). The cover of the undergrowth is 5%. The cover shrub layer is 1%: *Caragana arborescens* and *Sorbus sibirica*. The herb layer covers 50-60%, and in some plant communities up to 80%. It is represented by *Carex macroura* and *Calamagrostis arundinacea*. The layer of mosses is located in tree trunks and fallen trees; its projective cover reaches 40%. Species richness is 24-57 species per 625 m². We found 132 species, of them 6 are weed species and 21 are alien species. **6. Birch-pine bracken forests.** The forest cover is 65-70%: *Pinus sylvestris* is 40% and *Betula pendula* is 20-25%, in depressions *Betula pubescens* is encountered. The undergrowth is less than 1%. The cover shrub layer is 20-30%, in some plant communities it is up to 50%. It is represented by *Sorbus sibirica* and *Caragana arborescens*. The herbaceous layer cover is 80-85%. It is dominated by *Pteridium pinetorum*, its projective cover reaches 70%. There is a significant proportion of *Carex macroura* and *Brachypodium pinnatum*. Species richness is 13-58 species per 625 m². In this group, 154 species were identified, 5 of them are ruderal and 24 are adventive, the lowest result among the identified groups. A low proportion of weed and adventive species in the composition of grass allows us to characterize this group of vegetation as more resistant to anthropogenic pressures due to competitive abilities of *Pteridium pinetorum*. We should note correlation between the total number of all species, the number of natural flora species (0.87), and the number of ruderal species (0.81). This indicates that with a decrease in the total number of species, the number of natural flora species decreases.

Within the studied area, we determined 342 species of higher vascular plants: 66 ruderal species, 72 alien species, and 9 musci species. There was an increased degradation of vegetation closer to residential areas. On the territories of residential areas, we identified anthropogenically modified vegetation of birch-pine and pine-birch forests with a total area of 61 hectares, in which the proportion of natural flora species is 58%. We established that with a moderate anthropogenic load on birch-pine grass forests located in the development zone, the proportion of synanthropic species increases to 30%, which leads to an increase in the total number of species. Natural forests (birch-pine and pine sedge forests and birch-pine and pine tor-grass forests) with low anthropogenic influence are less susceptible to degradation. In the three groups (birch-pine and pine sedge forests, birch-pine and pine tor-grass forests and birch-pine and pine grass forests) the proportion of natural flora species is 87-89%. In birch-pine bracken forests, the proportion of natural flora species is 94%. Thus, forest vegetation, which is represented over large areas and less fragmented, is more resistant to invasions, and an increase in the number of ruderal species increases the total number of vegetation. Birch-pine bracken forests are most resistant to invasions.

The paper contains 3 Figures and 42 References.

Key words: urban forests; anthropogenic influence; adventive plants; synanthropic species; residential zone; Novosibirsk.

Funding: This work was partially supported by the RFBR (Grant No 16-05-00908 A) and conducted in the framework of base projects of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Project No VI.52.1).

Acknowledgments: We are grateful to researchers of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, MA Polyakova, Cand. Sci. (Biol.), for recommendations during the study, and NN Lashchinskiy, Dr. Sci. (Biol.), for valuable critical comments on the floristic composition of plant communities.

References

1. Burova NV, Feklistova PA. Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov [Anthropogenic transformation of suburban forests]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ.; 2007. 264 p. In Russian
2. Shergina OV, Mikhailova TA. Sostoyanie drevesnykh rasteniy i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk [Status of woody plants and soil in park and forest park zones of Irkutsk]. Irkutsk: VB Sochava Institute of Geography Publ.; 2007. 200 p. In Russian
3. Chernenkova TV. Reaktsiya lesnoy rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie [Reaction of forest vegetation to industrial pollution]. Moscow: Nauka Publ.; 2002. 119 p. In Russian
4. Malmivaara-Lämsä M, Hamberg L, Löfström I, Vanha-Majamaa I, Niemelä J. Trampling tolerance of understorey vegetation in different hemiboreal urban forest site types in Finland. *Urban ecosystems*. 2008;11:1-16.
5. Selochnik NN. Factors of forest ecosystem degradation. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2008;5:52-60. In Russian
6. Shavnin SA, Veselkin DV, Vorobeichik EL, Galako VA, Vlasenko VE. Factors of the pine stands transformation in vicinities of Yekaterinburg. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2015;5:346-355. In Russian, English Summary
7. *Dinamika ekosistem Novosibirskogo Akademgorodka* [Dynamics of ecosystems in Novosibirsk Akademgorodok]. Zhimulev IF, editor. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2013. 438 p. In Russian

8. Zubkus LP, Skvortsova AV, Kormacheva TN. Ozelenenie Novosibirsk [Lanscaping of Novosibirsk]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1962. 340 p. In Russian
9. Taran IV, Spiridonov VN. Ustoychivost' rekreatsionnykh lesov [Stability of recreation forests]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1977. 179 p. In Russian
10. Elton CS. The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen; 1958. 181 p. doi: [10.1177/0309133307087089](https://doi.org/10.1177/0309133307087089)
11. Vila M, Pino J, Font X. Regional assessment of plant invasions across different habitat types. *Journal of Vegetation Science*. 2007;18:35-42. doi: [10.1111/j.1654-1103.2007.tb02513.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02513.x).
12. Brown RL, Peet RK. Diversity and invisibility of Southern Appalachian plant communities. *Ecology*. 2003;84(1):32-39. doi: [10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0032:DAIOSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0032:DAIOSA]2.0.CO;2).
13. Fridley JD, Brown RL, Bruno JE. Null models of exotic invasion and scale-dependent patterns of native and exotic species richness. *Ecology*. 2004;85(12):3215-3222. doi: [10.1890/03-0676](https://doi.org/10.1890/03-0676).
14. Mirkin BM, Naumova LG. The vegetation adventivisation through perspective of current ecological ideas. *Biology Bulletin Reviews*. 2002;63(6):506-508.
15. *Okruzhayushchaya sreda i ekologicheskaya obstanovka v Novosibirskom Nauchnom Tsentre SO RAN* [Environment and ecological situation at Novosibirsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]. Ermikov VD, editor. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1995. 251 p. In Russian
16. Kessler M. Maximum plant-community endemism at intermediate intensities of anthropogenic disturbance in Bolivian montane forests. *Conservation Biology*. 2001;15:634-641. doi: [10.1046/j.1523-1739.2001.015003634.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003634.x)
17. Westphal C. Theoretische Gedanken und beispielhafte Untersuchungen zur Naturnähe von Wäldern im Staatlichen Forstamt Sellhorn (Naturschutzgebiet Lüneburger Heide). *Berichte des Forschungszentrums Waldoekosysteme/Waldsterben*. Göttingen: Universität Göttingen Publ.; 2001;174:1-189. In German
18. Deutschewitz K, Lausch A, Kühn I, Klotz S. Native and alien plant species richness in relation to spatial heterogeneity on a regional scale in Germany. *Global Ecology and Biogeography*. 2003;12:299-311. doi: [10.1046/j.1466-822X.2003.00025.x](https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00025.x)
19. Ewers RM, Didham RK. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*. 2006;81:117-142. doi: [10.1017/S1464793105006949](https://doi.org/10.1017/S1464793105006949)
20. Didham RK, Lawton JH. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica*. 1999;31(1):17-30.
21. Pikvin VM, Chindyaeva LN. Ekologicheskaya infrastruktura sibirskogo goroda (na primere Novosibirskoy aglomeratsii) [Environmental infrastructure in Siberian cities (the example of Novosibirsk agglomeration)]. 2nd ed. Novosibirsk: Sibprint Publ.; 2005. 194 p. In Russian
22. Krylov GV. Lesa Zapadnoy Sibiri [Forests of West Siberia]. Kabanov NE, editor. Moscow: AS USSR Publ.; 1961. 255 p. In Russian
23. *Priroda Akademgorodka: 50 let spustya* [Nature of Akademgorodok: 50 years later]. Zhimulev IF, editor. Novosibirsk: Publishing House SB RAS; 2007. 250 p. In Russian
24. *Plant diversity of Central Siberian Botanical Garden, SB RAS*. Koropachinskiy IYu, Banaev EV, editors. Novosibirsk: Academic Publishing House Geo Ltd; 2014. 492 p. In Russian, English Summary
25. Syso AI, Smolentsev BA, Yakimenko VN. The soil cover of Akademgorodok and its eco-agroclimatic assessment. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010;17(3):253-264. doi: [10.1134/S199542551003001X](https://doi.org/10.1134/S199542551003001X)
26. *Agroklimaticheskie resursy Novosibirskoy oblasti* [Agroclimatic resources of Novosibirsk region]. Chernikova MI, editor. Leningrad: Gidrometioizdat Publ.; 1971. 155 p. In Russian

27. Luchitskaya IO, Belaya NI, Arbuzov SA. Klimat Novosibirska i ego izmeneniya [The Climate of Novosibirsk and its changes]. Novosibirsk: Publishing House SB RAS; 2010. 224 p. In Russian
28. Korchagin AA. Vidovoy (floristicheskiy) sostav rastitel'nykh soobshchestv i metody ego izucheniya [Species (floristic) composition of plant communities and methods of its study]. In: *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Vol. 3. Lavrenko EM and Korchagin AA, editors. Moscow-Leningrad: Nauka Publ.; 1964. pp. 39-62. In Russian
29. Cherepanov SK. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)]. St. Petersburg: Mir & Sem'ya-95 Publ.; 1995. 991 p. In Russian
30. Shmakov AI. Key for the ferns of Russia. 2nd ed. Barnaul: АРТИКА Publ.; 2009. 126 p. In Russian
31. Ignatov MS, Afonina OM, Ignatova EA, Abolina A, Akatova TV, Baisheva EZ, Bardunov LV, Baryakina EA, Belkina OA, Bezgodov AG, Boychuk MA, Cherdantseva VYa, Czernyadjeva IV, Doroshina GYa, Dyachenko AP, Fedosov VE, Goldberg IL, Ivanova EI, Jukoniene I, Kannukene L, Kazanovsky SG, Kharzinov ZKh, Kurbatova LE, Maksimov AI, Mamatkulov UK, Manakyan VA, Maslovsky OM, Napreenko MG, Otnyukova TN, Partyka LYa, Pisarenko OYu, Popova NN, Rykovsky GF, Tubanova DYa, Zheleznova GV, Zolotov VI. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 2006;15:1-130. doi: [10.15298/arctoa.15.01](https://doi.org/10.15298/arctoa.15.01).
32. Aleksandrova VD. Klassifikatsiya rastitel'nosti. Obzor printsipov klassifikatsii i klassifikatsionnykh sistem v razlichnykh geobotanicheskikh shkolakh [Classification of vegetation. An overview of the principles of classification and classification systems in different geobotanical schools]. Leningrad: Nauka Publ.; 1969. 275 p. In Russian
33. Pyšek P, Richardson DM, Rejmánek M, Webster GL, Williamson M, Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*. 2004;53(1):131-143.
34. Richardson DM, Pyšek P, Rejmanek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and definitions*. 2000;6:93–107.
35. Nikitin VV. Sornye rasteniya flory SSSR [Weed plants in the flora of the USSR]. Leningrad: Nauka Publ.; 1983. 454 p. In Russian
36. *Open Street Map project* [Electronic resource]. Available at: <http://www.openstreetmap.org/> (accessed 31.03.17).
37. Schmidt VM. Matematicheskie metody v botanike [Mathematical methods in botany]. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1984. 288 p. In Russian
38. Bray RJ, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*. 1957;27:325-349. Available at: <http://cescos.fau.edu/gawliklab/papers/BrayJRandJTCurtis1957.pdf> (accessed 31.03.17).
39. Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlenn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MH, Szoecs E. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2. Date 2017-01-17. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf> (accessed 31.03.17).
40. Schloerke B, Crowley J, Cook D, Hofmann H, Wickham H, Briatte F, Marbach M, Thoen E, Elberg A, Larmarange J. GGally: Extension to 'ggplot2' R package Version 1.3.0. Date 2016-11-13. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/GGally/GGally.pdf> (accessed 31.03.17).
41. Phillips NA. Companion to the e-Book «YaRrr!: The Pirate's Guide to R») R package Version 0.1.4. Date 2017-02-07. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/yarr/yarr.pdf> (accessed 31.03.17).

42. Ershova EA. Anthropogenic transformation in suburban communities containing brakes (*Pteridium pinetorum*) in the grass stand. *Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii*. 2012;1(2):132-138. In Russian

*Received 06 June 2017; Revised 17 January 2018;
Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Otmakhov Yury S, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Laboratory of Ecology and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: otmachov@mail.ru

Chernikova Tatiyana S, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Ecology and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: hcernika@yandex.ru

Tretyakov Boris A, Student, Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Ave, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: temartret@yandex.ru

ЗООЛОГИЯ

УДК 591.9+591.526+598.2
doi: 10.17223/19988591/41/6

А.В. Макаров¹, Е.А. Беликова², Е.Н. Бочкарёва¹

¹ Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия

² Алтайский колледж промышленных технологий и бизнеса, г. Бийск, Россия

Пространственно-типологическая структура и организация населения птиц Предалтайской равнины во второй половине лета

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-04-00301

«Пространственная организация биоразнообразия Западно-Сибирской равнины (на примере населения земноводных, пресмыкающихся, птиц и мелких млекопитающих)».

Составлена классификация населения птиц Предалтайской равнины, выявлена пространственно-типологическая структура неоднородности орнитокомплексов и оценена сила связи изменчивости сообществ и факторов среды. Выполнено сравнение с результатами аналогичного анализа населения птиц по первой половине лета. Во второй половине лета в результате влияния послегнездовых кочевок снижается дифференциация орнитокомплексов застроенных местообитаний, и увеличивается в ряде лугово-степных и полевых сообществ. Основные направления изменений населения птиц связаны с облесённостью, увлажнённой, обводнённой, распахкой, сенокосением и застроенностью. Распределение птиц на водотоках зависит от их размеров, а на малых реках – от характера берегов. Среди факторов среды, влияющих на неоднородность населения птиц, наиболее значимы антропогенное воздействие (в первую очередь застроенность и распахка), а также кормность местообитаний.

Ключевые слова: орнитокомплексы; кластерный анализ; классификация; пространственная структура; неоднородность сообществ; факторы среды.

Введение

Под пространственной структурой животного населения понимают общий характер его территориальной неоднородности, т.е. основные направления изменений сообществ в факторном пространстве. Пространственно-типологической организацией населения считают факторы среды, определяющие территориальную структуру. Типологической её следует считать потому, что сбор материала для анализа проводят без учёта террито-

риальной смежности обследуемых участков [1]. Изучение пространственной неоднородности животного населения необходимо, поскольку для мониторинга и сохранения биоразнообразия требуется проведение инвентаризации сообществ и оценка их пространственно-временных изменений. Выявление и расчёт связей факторов среды с пространственной неоднородностью сообществ считают одной из важнейших задач современной экологии и биогеографии [2]. Эти сведения позволяют прогнозировать плотность и состав животного населения во времени и пространстве на необследованных участках и при изменении площадей местообитаний. Нарастающая с каждым годом антропогенная трансформация ландшафтов приводит к серьёзной перестройке биоценозов, поэтому сведения о современном облике животного населения имеют важное прогностическое значение [3].

Орнитофауне равнинной части Алтайского края посвящено значительное количество публикаций [4–10]. Не менее хорошо изучена территориальная неоднородность населения птиц горных провинций Алтая, по которым опубликован ряд статей и несколько монографий [11–16]. По неоднородности орнитокомплексов горных районов Алтая и Западно-Сибирской равнины в целом известна публикация Ю.С. Равкина и соавт. [17], по колючей степи Западной Сибири, включая Алтайский край, есть монография К.В. Торопова [18], а по г. Бийску – статья Е.А. Беликовой [19]. За рубежом подобные исследования проводят обычно в ограниченном числе местообитаний, т.е. не в географическом плане и, как правило, другими методами. На больших площадях работы ведут на растровой основе (площадках 5×5 или 10×10 км) без разделения на биотопы [20–26]. Это делает несравнимыми такие показатели обилия птиц с рассчитанными по использованным нами методам. Что касается населения птиц Предалтайской равнины, то подобные работы, касающиеся территориальной неоднородности орнитокомплексов, ранее на данной территории не проводились. Поэтому основная цель наших исследований в целом, и в частности данной статьи, заключена в выявлении пространственной неоднородности летнего населения птиц и основных факторов среды, определяющих эти изменения.

Материалы и методики исследования

Предалтайская равнина как самостоятельная физико-географическая провинция Алтайской горной области окаймляет горы Алтая с северо-запада и севера неширокой полосой общей площадью около 21 тыс. км². Она представляет собой пологонаклонную слаборасчленённую плоскую поверхность с абсолютными высотами на юге около 270–350 м и на севере 250–200 м. Большая часть территории равнины распаханна, а нераспаханные степные участки используют под пастбища. На песчаных террасах долины нижнего течения р. Бия распространены сосновые боры, а на открытых территориях – берёзовые и осиново-берёзовые колки [27].

Птиц учитывали на постоянных, но не строго фиксированных маршрутах, без ограничения дальности обнаружения с последующим раздельно-групповым пересчётом на площадь. В каждом местообитании за каждые полмесяца с учётом пройдено по пять км, а по берегам рек – по 10 км береговой линии [28]. На полностью просматриваемых малых реках птиц регистрировали без учёта дальности обнаружения, а для расчёта на 1 км² число особей каждого вида делили на площадь обследованного участка реки [2]. Птиц, встреченных летящими транзитом на большой высоте, пересчитывали с поправкой на скорость их перемещения [29]. Суммарная протяжённость основных учётных маршрутов составила 795 км. Результаты всех учётов птиц, в том числе на реках, приведены к числу особей на 1 км². По каждому местообитанию результаты пересчёта за двухнедельные отрезки времени усреднены за вторую половину лета (с 16 июля по 31 августа).

Учёты птиц проведены в 2003–2005 гг. и с 2014 по 2016 г. на территории четырёх ключевых участков. Первые два расположены в восточной части Предалтайской равнины в Нижнебийском физико-географическом районе в пределах умеренно влажных лугово-степных и лесостепных ландшафтов. Из них первый включает в себя селитебные местообитания г. Бийска, обследованные Е.А. Беликовой в 2003–2005 гг. (52°31' с. ш., 85°10' в. д.). На втором, расположенном в окрестностях пос. Усятское (52°32' с. ш., 85°42' в. д.) и Красногорское (52°17' с. ш., 86°11' в. д.), работы вели в 2014 г. в 11 местообитаниях (Бийский и Красногорский районы Алтайского края). По данному району за 1998 г. привлечены также опубликованные материалы К.В. Торопова и К.В. Граждана [15] по пяти предгорным ландшафтными урочищам окрестностей пос. Нижняя Ненинка. Третий и четвёртый ключевые участки заложены в центральной и западной частях Предалтайской равнины на территории Нижнеануйского и Верхнеалейского физико-географических районов. Эти участки располагались в пределах Петропавловского (52°05' с. ш., 84°01' в. д.) и Курьинского (51°30' с. ш., 82°15' в. д.) районов Алтайского края. Здесь распространены в основном засушливые и умеренно засушливые степные ландшафты, в которых в общей сложности обследовано 19 местообитаний. Таким образом, включая как наши, так и заимствованные материалы, проанализировано 42 варианта населения, при этом учтено 158 видов птиц.

Классификация населения птиц проведена с помощью одного из методов кластерного анализа [30], согласно которому все рассматриваемые варианты орнитокомплексов подразделяются на незаданное число групп по степени сходства каждой пробы со всеми остальными. В качестве меры сходства использован коэффициент Жаккара [31] для количественных признаков [32]. После первого разбиения наиболее представительную группу застроенных местообитаний доразбивали тем же методом. Результаты первого разбиения и доразбивки считали делением на подтипы населения. Кроме того, матрица межподтипового сходства послужила основой для вторичной агрегации, ре-

зультаты которой считались типами населения. На основе этого разбиения и вторичной агрегации составлена иерархическая классификация орнитокомплексов. Пространственно-типологическая структура построена по матрице средних коэффициентов сходства на уровне подтипа населения. При построении структурного графа порог значимых связей выбирали так, чтобы граф наилучшим образом иллюстрировал выявленные тренды и его можно было построить в двумерном пространстве. Сила связи пространственной неоднородности населения птиц с факторами среды и их сочетаниями (природно-антропогенными режимами) рассчитана с помощью линейной качественной аппроксимации [33]. Математическая обработка выполнена с помощью пакета программ банка данных лаборатории зоологического мониторинга ИСиЭЖ СО РАН. Рисунок выполнен в программе Corel DRAW X6.

Фоновыми считали виды, доля которых в населении птиц по обилию составляла не менее одной особи на 1 км² [34]. Первые пять видов, наиболее значимые по какому-либо показателю, считали лидерами, независимо от их доли [2]. Названия видов даны по списку птиц Российской Федерации [35], а типов фауны – по Б.К. Штегману [36]. В связи с тем, что оба вида ласточек – береговушка (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758) и бледная береговушка (*R. diluta* Sharpe et Wyatt, 1893) – во время учётов трудно различимы, их считали вместе под общим названием береговушка (*R. riparia*).

Результаты исследования и обсуждение

Приведённая ниже классификация отражает различия трёх надтипов населения птиц: незастроенной и застроенной суши и водно-околоводных сообществ. Незастроенные местообитания представлены двумя типами и шестью подтипами, застроенные – одним типом и двумя подтипами, а водно-околоводные – двумя типами и четырьмя подтипами населения. В классификации для каждого из выделенных таксонов приведены лидирующие по обилию виды с указанием их доли в сообществах, а также суммарное обилие, видовое богатство и число фоновых видов. Кроме того, в классификацию включены сведения о фаунистическом составе населения с указанием доминирующих типов фауны и их доли по количеству особей.

Классификация населения птиц

I. Надтип населения птиц незастроенной суши

1. *Лугово-лесной тип населения* (лесов и промзон среди них, мозаичных местообитаний, облесённых низинных болот, а также пойменных лугов с кустарниками, ивняками и старицами), лидируют по обилию, %: садовая камышёвка (*Acrocephalus dumetorum* Blyth, 1849) – 16, большая синица (*Parus major* Linnaeus, 1758) – 8, пухляк (*Parus montanus* Conrad von Baldenstein,

1827) и серая славка (*Sylvia communis* Latham, 1787) – по 7, щегол (*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758) – 6; плотность населения – 804 особи/км²; всего встречено 125 видов/из них фоновых – 61; доля по количеству особей, %: европейского типа фауны – 46, транспалеарктов – 15, сибирского типа – 11.

Подтипы населения:

1.1 – светлохвойных, светлохвойно-мелколиственных и мелколиственных лесов, а также промзон среди них: пухляк (*P. montanus*) – 19, большая синица (*P. major*) – 18, зяблик (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) – 11, лесной конёк (*Anthus trivialis* Linnaeus, 1758) – 6, полевой воробей (*Passer montanus* Linnaeus, 1758) – 5; 505; 71/46; европейского и сибирского типов фауны – 56 и 26, транспалеарктов – 13;

1.2 – влажных внепойменных лугов с колками и ивняками, облесённых низинных болот и пойменных лугов с кустарниками, ивняками и старицами: садовая камышёвка (*A. dumetorum*) – 22, серая славка (*S. communis*) – 9, щегол (*C. carduelis*) – 8, обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) – 6, азиатский черноголовый чекан (*Saxicola maurus* Pallas, 1773) – 5; 1103; 105/64; европейского типа фауны – 42, транспалеарктов – 16, китайского типа – 10.

2. **Лугово-степной тип населения** (полей, чёрных паров, степей и остепнённых лугов-выпасов): азиатский черноголовый чекан (*S. maurus*) – 28, северная бормотушка (*Iduna caligata* Lichtenstein, 1823) – 16, полевой жаворонок (*Alauda arvensis* Linnaeus, 1758) – 14, полевой воробей (*P. montanus*) – 7, грач (*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758) – 6; 508; 68/29; транспалеарктов – 56, европейского и средиземноморского типов фауны – 18 и 16.

Подтипы населения:

2.1 – полей, луговых степей и остепнённых лугов-выпасов: азиатский черноголовый чекан (*S. maurus*) – 34, северная бормотушка (*I. caligata*) – 19, полевой жаворонок (*A. arvensis*) – 8, полевой воробей (*P. montanus*) – 6, перепел (*Coturnix coturnix* Linnaeus, 1758) – 5; 599; 55/29; транспалеарктов – 54, средиземноморского и европейского типов фауны – 20 и 16;

2.2 – скошенных полей кормовых трав и граничащих с ними лугов-выпасов: грач (*C. frugilegus*) – 30, полевой жаворонок (*A. arvensis*) – 20, степной конёк (*Anthus richardi* Vieillot, 1818) – 8, чёрный стриж (*Apus apus* Linnaeus, 1758) – 7, полевой воробей (*P. montanus*) – 6; 322; 34/24; европейского типа фауны – 46, транспалеарктов – 42, монгольского типа – 10;

2.3 – ковыльных степей: полевой жаворонок (*A. arvensis*) – 69, полевой воробей (*P. montanus*) – 17, азиатский черноголовый чекан (*S. maurus*) и жёлтая трясогузка (*Motacilla flava* Linnaeus, 1758) – по 3, скворец (*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758) – 1; 480; 19/15; транспалеарктов – 94;

2.4 – чёрных паров: полевой жаворонок (*A. arvensis*) – 44, береговушка (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758) – 38, ворон (*Corvus corax* Linnaeus, 1758) – 7, пустельга (*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758) – 4, перепел (*C. coturnix*) – 2; 84; 9/7; транспалеарктов – 86, европейского типа фауны – 11.

II. Надтип населения птиц застроенной суши

3. **Селитебный тип населения:** домовый (*Passer domesticus* Linnaeus, 1758) и полевой (*P. montanus*) воробьи – 38 и 24, сизый голубь (*Columba livia* J.F. Gmelin, 1789) – 17, грач (*C. frugilegus*) – 4, деревенская ласточка (*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758) – 3; 1860; 72/32; транспалеарктов – 68, средиземноморского и европейского типов фауны – 17 и 13.

Подтипы населения:

3.1 – городских промзон, скверов, участков многоэтажной застройки и посёлков: домовый (*P. domesticus*) и полевой (*P. montanus*) воробьи – 43 и 18, сизый голубь (*C. livia*) – 18, грач (*C. frugilegus*) – 4, деревенская ласточка (*H. rustica*) – 3; 1873; 69/31; транспалеарктов – 67, средиземноморского и европейского типов фауны – 18 и 13;

3.2 – городских участков одноэтажной застройки и садов: полевой воробей (*P. montanus*) – 63, сизый голубь (*C. livia*) – 9, большая синица (*P. major*) – 7, домовый воробей (*P. domesticus*) – 6, белая трясогузка (*Motacilla alba* Linnaeus, 1758) – 4; 1793; 23/20; транспалеарктов – 75, европейского типа фауны – 14.

III. Надтип водно-околоводных сообществ птиц

Речные типы населения:

4 – **крупных и средних, а также малых рек с закустаренными обрывистыми берегами:** деревенская ласточка (*H. rustica*) – 24, маскированная трясогузка (*Motacilla personata* Gould, 1861) – 16, перевозчик (*Actitis hypoleucos* Linnaeus, 1758) – 14, сорока (*Pica pica* Linnaeus, 1758) и чёрный коршун (*Milvus migrans* Boddaert, 1783) – по 7; 207; 33/17; транспалеарктов – 63, европейского типа фауны – 12.

Подтипы населения:

4.1 – крупных и средних рек: маскированная трясогузка (*M. personata*) – 22, перевозчик (*A. hypoleucos*) – 17, чёрный коршун (*M. migrans*) – 12, береговушка (*R. riparia*) и серая ворона (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758) – по 10; 140; 32/16; транспалеарктов – 57, европейского типа фауны – 12;

4.2 – малых рек с закустаренными обрывистыми берегами: деревенская ласточка (*H. rustica*) – 47, сорока (*P. pica*) – 12, перевозчик (*A. hypoleucos*) и маскированная трясогузка (*M. personata*) – по 10, белохвостый песочник (*Calidris temminckii* Leisler, 1812) – 8; 409; 10/9; транспалеарктов – 69, европейского типа фауны – 12.

5 – **малых рек с открытыми берегами:** жёлтая трясогузка (*M. flava*) – 35, кряква (*Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758) и скворец (*S. vulgaris*) – по 12, береговушка (*R. riparia*) – 11, золотистая шурка (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758) – 6; 1446; 27/25; транспалеарктов – 75, европейского типа фауны – 12.

Подтипы населения:

5.1 – малых рек с илистыми берегами: жёлтая трясогузка (*M. flava*) – 47, береговушка (*R. riparia*) – 19, кряква (*A. platyrhynchos*) – 15, черныш (*Tringa ochropus* Linnaeus, 1758) – 7, чирок-свистунок (*Anas crecca* Linnaeus, 1758) – 3; 1607; 12/12; транспалеарктов – 98;

5.2 – малых рек с галечниково-илистыми берегами: скворец (*S. vulgaris*) – 26, жёлтая трясогузка (*M. flava*) – 19, золотистая щурка (*M. apiaster*) – 13, маскированная трясогузка (*M. personata*) – 8, кряква (*A. platyrhynchos*) – 7; 1284; 21/19; транспалеарктов – 45, европейского типа фауны – 28, средиземноморского типа – 13.

В классификации, по сравнению с I половиной лета, орнитокомплексы застроенных территорий выделены в отдельный надтип, что обусловлено их слабым сходством с орнитоценозами незастроенной суши. В I половине лета они, за счёт населения птиц промзон среди смешанных лесов, имели относительно высокое сходство с лесными, мозаичными и полевыми сообществами и объединялись с ними в один надтип. Но во II половине лета в результате влияния послегнездовых кочёвок птицы, населяющие промзоны, в значительном количестве откочёвывают в окружающие леса. Это и приводит к сближению и объединению этих орнитокомплексов с лесным подтипом населения. В то же время птицы остальных застроенных местообитаний за счёт низкого сходства с орнитоценозами природных сообществ обособляются от них в отдельный надтип. Дальнейшее деление по незастроенной суши, в сравнении с I половиной лета, имеет следующие различия. Кочующие садовые камышевки, чечевицы (*Carpodacus erythrinus* Pallas, 1770) и серые славки сближают сообщества птиц пойменных лугов-кустарников с населением внепойменных лугов с колками и низинных болот, тогда как в I половине лета они относились к разным подтипам. Для полевых и лугово-степных сообществ птиц во II половине лета характерна большая дифференциация населения. В отдельный подтип выделено население скошенных полей кормовых трав и граничащих с ними лугов-выпасов, что связано с резким ухудшением защитных условий для насекомых и мелких млекопитающих и, соответственно, с увеличением здесь численности грача и степного конька. Обособление орнитоценозов ковыльных степей от других полевых и степных сообществ, вызвано предлетным скоплением здесь полевого жаворонка и относительно низким обилием других видов птиц. В надтипе водно-околоводных сообществ изменений, по сравнению с I половиной лета, меньше. Орнитокомплексы малых рек разделены на подтипы в зависимости от степени закустаренности берегов и характера их литорали, а орнитоценозы крупных и средних рек объединены в один подтип, тогда как в I половине лета они относились к разным подтипам.

Как и в I половине лета, максимальное суммарное обилие птиц отмечено в застроенных местообитаниях (1 793–1 873 особей/км²), при этом в городских участках одноэтажной застройки и садах плотность населения, по

сравнению с гнездовым периодом, возросла в 1,7 раза и почти сравнялась с таковой по городским участкам многоэтажной застройки и посёлкам. Примерно в 1,7 раза птиц меньше в сообществах пойменных лугов-кустарников, а также влажных внепойменных лугов с колками и низинных болот (1 103), в 3–3,5 раза меньше в полевых, лугово-степных и лесных орнитоценозах (505–599). Более чем в пять раз птиц меньше в скошенных полях и лугах-выпасах, граничащих с ними (322), а минимум свойствен чёрным парам (84). На водотоках отмечены те же тенденции изменения суммарного обилия, что и в I половине лета. Больше всего птиц на малых реках с открытыми берегами (1 284–1 607) и значительно меньше – при увеличении закустаренности берегов и площади водотоков (140–409). В сравнении с гнездовым периодом на малых реках с чередованием открытых галечниковых и илистых береговых участков плотность населения птиц снизилась более чем в 2,5 раза, что обусловлено перераспределением кочующих стай скворца и отгнездившейся жёлтой трясогузки. Таким образом, плотность населения птиц максимальна при высоких показателях застроенности и антропогенной кормности. В пределах незастроенной суши птиц больше всего при высокой закустаренности, поемности, увлажнённости и мозаичности местообитаний, а при уменьшении этих показателей и одновременном увеличении облесённости, распашки и остепнённости их обилие сокращается. При сенокосении суммарное обилие птиц становится ещё меньше, а при крайнем обеднении продуктивности фитоценозов и кормности (на чёрных парах) снижается до минимума.

Изменение общего видового и фоновое богатства, за редким исключением, соответствует их динамике в I половине лета. Наибольшие показатели отмечены в подтипе населения пойменных лугов с кустарниками, влажных внепойменных лугов с колками и низинных болот (105 видов/из них фоновых 64), что связано с высокой мозаичностью местообитаний, увлажнённостью, закустаренностью и кормностью. Уменьшение общего числа встреченных и фоновых видов прослежено в лесных (71/46) и селитебных орнитокомплексах (72/32), причём в последних видовое богатство выше всего в городских участках многоэтажной застройки, промзонах и посёлках (69/31) и значительно меньше – в городских участках одноэтажной застройки и садах (23/20). В дальнейшем снижение этих показателей идёт от населения птиц полей, остепнённых лугов и луговых степей (55/29) через скошенные поля кормовых трав (34/24) к ковыльным степям (19/15) и чёрным парам (9/7), т.е. по градиенту увеличения распашки, выпаса, сенокосения и остепнённости. В I половине лета на увеличение числа видов, помимо мозаичности местообитаний и увлажнённости, влияла смена состава лесобразующих пород, что вызвано разделением при классификации лесных местообитаний на относительно сухие светлохвойные и влажные мелколиственные леса. В водно-околоводных сообществах, как и в I половине лета, видовое богатство птиц выше всего в подтипе населения крупных и средних рек (32/16), а так-

же на малых реках с открытыми галечниково-илистыми берегами (21/19). При увеличении закустаренности берегов и соответственно со снижением доступности пищи для птиц, кормящихся у уреза воды, количество видов уменьшается (10/9).

Наиболее важные различия в населении птиц второй половины лета связаны с наличием незастроенных и застроенных территорий и водно-околоводных сообществ, что отражено в выделении трёх надтипов. В пределах незастроенной суши деление на типы населения связано с различиями в облесённости, увлажнённости местообитаний и в антропогенном влиянии (распашке и выпасе). Первый тип состоит из двух подтипов населения птиц. В разделении на подтипы, помимо различий в облесённости и увлажнённости, выявлено влияние мозаичности местообитаний и кормности, но в отличие от I половины лета, здесь не прослежено воздействие различий в рельефе (поемности) и закустаренности. Дифференциация второго типа населения на четыре подтипа, как и в I половине лета, обусловлена отличиями в распашке, наличием или отсутствием посевов после неё, выпасе и кормности, а также в сенокосении и остепнённости. Тип населения птиц застроенных территорий подразделён на два подтипа. Их формирование связано с этажностью застройки, расстоянием зданий от центра города и площадью озеленения, но при этом не выявлено воздействия характера использования зданий (селитебное или промышленное), как это отмечено в гнездовой период. Надтип водно-околоводных сообществ птиц разделён на два типа в соответствии со степенью закустаренности берегов. В первом типе населения прослежено влияние размеров водотока, а во втором – характера литорали (илистая или галечниково-илистая). Кроме того, в I половине лета при формировании третьего типа населения отмечено влияние водности.

Указанные различия в территориальной дифференциации типов и подтипов населения птиц между I и II половинами лета обусловлены выравнивающим влиянием послегнездовых кочёвок, перераспределением птиц в связи с антропогенными изменениями ландшафтов (пастбищная дигрессия, сенокосение), предотлётным скоплением некоторых видов в тех или иных местообитаниях. Информативность классификации, выраженной величиной учтённой дисперсии коэффициентов сходства, составляет 69%, что несколько больше, чем в I половине лета (62%).

Пространственно-типологическая структура населения

Пространственно-типологическая структура населения птиц построена на уровне подтипа при пороге значимости связей 6 единиц (рис. 1). На ней чётко прослежены сгущения подтипов орнитокомплексов: незастроенной суши (1.1–2.4), застроенных территорий (3.1, 3.2) и водно-околоводных сообществ (4.1–5.2). Как и в I половине лета, основной вертикальный ряд схемы связан с облесённостью, увлажнённостью и распашкой.

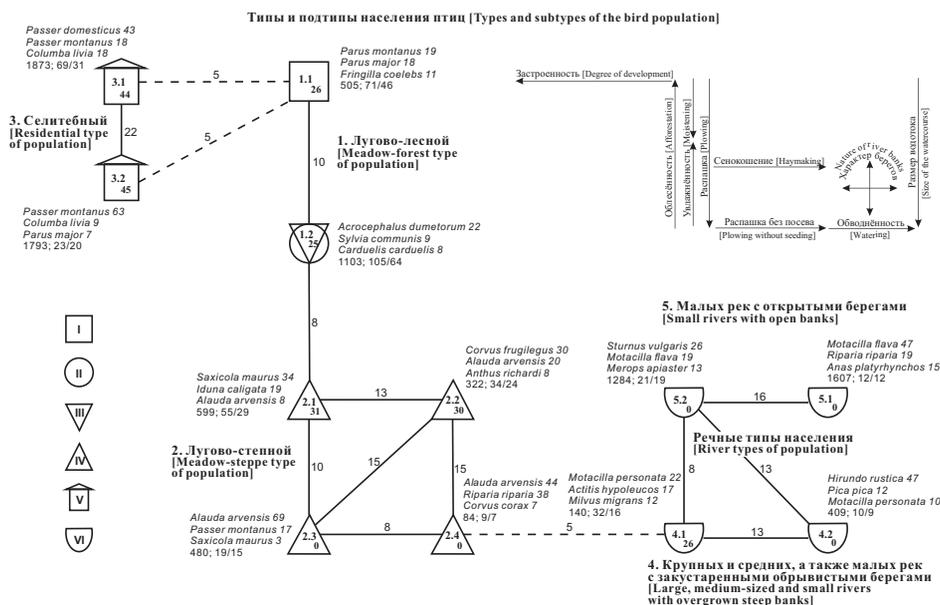


Рис. 1. Пространственно-типологическая структура населения птиц Предалтайской равнины. Вторая половина лета (1998, 2003–2005, 2014–2016 гг.). Подтипы населения птиц: 1.1 – светлохвойных, светлохвойно-мелколиственных и мелколиственных лесов, а также промзон среди них; 1.2 – влажных внепойменных лугов с колками и ивняками, облесённых низинных болот и пойменных лугов с кустарниками, ивняками и старицами; 2.1 – полей, луговых степей и остепнённых лугов-выпасов; 2.2 – скошенных полей кормовых трав и граничащих с ними лугов-выпасов; 2.3 – ковыльных степей; 2.4 – чёрных паров; 3.1 – городских промзон, скверов, участков многоэтажной застройки и посёлков; 3.2 – городских участков одноэтажной застройки и садов; 4.1 – крупных и средних рек; 4.2 – малых рек с закустаренными обрывистыми берегами; 5.1 – малых рек с илистыми берегами; 5.2 – малых рек с галечниково-илистыми берегами. Население птиц: I – лесных ландшафтов; II – местообитаний, где чередуются участки лесов и открытых пространств; III – открытых пространств, богатых по продуктивности; IV – открытых пространств, обеднённых по продуктивности; V – застроенных территорий; VI – водотоков. Внутри значков приведены номера подтипов населения, в виде подстрочного индекса показана величина внутригруппового сходства. Сплошные линии между значками означают существенное сверхпороговое сходство; прерывистые – запороговые связи. Рядом с этими линиями обозначена величина межгруппового сходства. Стрелками обозначены направления основных структурообразующих факторов среды

[Fig. 1. Spatial-typological structure of the bird population of the Prealtai plain. The second half of the summer (1998, 2003-2005, 2014-2016)] Subtypes of the bird population: 1.1 - Pine, pine small-leaved and small-leaved forests, as well as industrial zones among them; 1.2 - Wet meadows outside the floodplain with copses, lowland bogs and floodplain meadows with shrubs, willows and oxbows; 2.1 - Fields, meadow steppes and steppe meadows; 2.2 - Stubble fields of forage grasses and adjoining meadows-pastures; 2.3 - Feather-grass steppes; 2.4 - Fallow lands; 3.1 - Urban industrial zones, squares, sections of multi-storey buildings and settlements; 3.2 - Urban sections of one-storey buildings and gardens; 4.1 - Large and medium-sized rivers; 4.2 - Small rivers with overgrown steep banks; 5.1 - Small rivers with muddy banks; 5.2 - Small rivers with pebble-silt banks. The population of birds: I - Forest landscapes; II - Copses with open spaces; III - Open spaces rich in productivity; IV - Open spaces with reduced productivity; V - Built-up territories; VI - Watercourses. Inside the icons, the numbers of the population subtypes are given; the subindex shows the value of intra-group similarity. The continuous lines between the icons are a significant suprathreshold similarity; the dashed lines are postthreshold connections. Next to these lines, the value of intergroup similarity is shown. The arrows indicate the direction of the main structure-forming factors of the environment

Он образован лесами, внепойменными лугами с колками и пойменными лугами с кустарниками, полевыми и лугово-степными сообществами, а также ковыльными степями. При уменьшении облесённости и увеличении мозаичности и закустаренности лидирующие лесные виды птиц (пухляк, большая синица и зяблик) меняются на кустарниковые и лесопольевые (садовая камышевка, серая славка и щегол), а по мере увеличения распашки и остепнённости – на обитателей открытых пространств (полевой жаворонок, азиатский черноголовый чекан и северная бормотушка). Боковое отклонение от вертикального ряда, связанное с сенокошением на полях кормовых трав и значительным обеднением продуктивности растительных сообществ на чёрных парах, совпадает с уменьшением плотности населения в них по сравнению с остальными полевыми сообществами в два и семь раз соответственно. В орнитокомплексах скошенных полей и граничащих с ними лугов-выпасов азиатского черноголового чекана и северную бормотушку в числе первых трёх лидеров по обилию сменяют грач и степной конёк, а в сообществах чёрных паров – береговушка и ворон. Отклонение на графе, связанное с застроенностью и антропогенным увеличением кормности, сопровождается существенным увеличением суммарного обилия птиц по сравнению с местообитаниями незастроенной суши. Рост суммарного обилия в орнитокомплексах застроенных территорий определяют в основном синантропные виды – домовый и полевой воробьи, сизый голубь, а также прикочёвывающая сюда большая синица.

Через население птиц чёрных паров основной ряд, объединяющий сообщества незастроенных территорий, связан с водно-околоводными подтипами (4.1–5.2). Как и в I половине лета, основные изменения населения в них обусловлены степенью закустаренности берегов, характером литорали и размерами водотоков. Для сообществ птиц крупных, средних и малых рек характерно высокое межклассовое сходство. Между орнитокомплексами малых рек с открытыми галечниково-илистыми и илистыми берегами сходство определяют жёлтая трясогузка и кряква, а между населением птиц крупных, средних и малых рек с закустаренными обрывистыми берегами – маскированная трясогузка и перевозчик. Широкое распространение во II половине лета маскированной трясогузки и перевозчика определяет появление и усиление значимой связи между орнитоценозами малых рек с закустаренными обрывистыми и открытыми галечниково-илистыми берегами, а также с крупными и средними водотоками.

В итоге можно констатировать, что основные структурные изменения в населении птиц Предалтайской равнины во II половине лета обусловлены облесённостью, увлажнённостью, распашкой, застроенностью, сенокошением, обводнённостью, характером берегов малых рек и размерами водотоков. По сравнению с гнездовым периодом, в связи с объединением сообществ птиц пойменных лугов-кустарников с орнитоценозами внепойменных лугов и колок, больше не выражены тренды, связанные с закустаренностью и

поемностью. На схемах пространственной неоднородности населения птиц колючей степи Обь-Иртышского междуречья, Тоболо-Иртышской лесостепи и степи, а также лесостепи Средней Сибири основные тренды также связаны с облесённостью, увлажнённой, застроенностью, распашкой и обводнённой [18, 30, 31]. Помимо этого, в Тоболо-Иртышской лесостепи и степи на население птиц влияют заболоченность, рудеральность и фактор, связанный с величиной городов. В колючей степи Обь-Иртышского междуречья изменения орнитокомплексов вызваны степенью развития тростниковых зарослей, засоленностью водоёмов и площадью акваторий, а в лесостепи Средней Сибири – выпасом и влиянием открытой разработки месторождений бурого угля. На всех рассмотренных территориях наибольшая плотность населения птиц отмечена в наиболее кормных селитебных местообитаниях, а в пределах незастроенной суши увеличение суммарного обилия птиц коррелирует в основном с нарастанием увлажнённости, заболоченности и степенью развития тростниковых или кустарниковых зарослей. Сходство пространственно-типологических структур населения птиц Предалтайской равнины и рассмотренных лесостепных и степных территорий заключается в преобладании трендов, связанных с деятельностью человека (застроенность, распашка, выпас и др.), что говорит о значительной антропогенной трансформации ландшафтов. В то же время зависимость плотности населения птиц от степени увлажнённости и мозаичности местообитаний связана с засушливостью климата и уменьшением облесённости лесостепных и степных областей.

Пространственная организация населения

Неоднородность населения птиц, как и в I половине лета, в наибольшей степени коррелирует с факторами антропогенного происхождения (64%), в первую очередь, с застроенностью (60%) и распашкой (18%). При этом оценка силы их влияния примерно соответствует таковой в гнездовой период. Во II половине лета, в результате влияния послегнездовых кочёвок и скопления птиц в наиболее кормных местообитаниях, заметно увеличилась значимость кормности (34%), но в свою очередь в 1,4–1,2 раза снизилось влияние рельефа, увлажнённости, закустаренности, заболоченности и обводнённости. Сила влияния состава лесообразующих пород и облесённости в I и II половинах лета почти не отличается, но при этом в иерархии факторов среды их значимость теперь выше, чем значимость увлажнённости (таблица). Снижение воздействия увлажнённости на пространственную неоднородность населения птиц во II половине лета, видимо, вызвано пересыщением мелководных участков малых рек с открытыми илистыми и закустаренными берегами и откочёвкой с них некоторых видов птиц. Наибольший прирост учтённой дисперсии дают наиболее взаимосвязанные между собой состав лесообразующих пород и облесённость (5%). Кормность определя-

ет лишь 2% прироста учтённой дисперсии, что обусловлено её скоррелированностью с антропогенными факторами. Так, увеличение застроенности приводит к росту антропогенной кормности для птиц, а распашка, выпас и сенокосение, как правило, к её уменьшению. Доля прироста учтённой дисперсии по остальным факторам не превышает 1–2%, что обусловлено их комплексностью и взаимной сопряжённостью.

Оценка силы и общности связи факторов среды и неоднородности населения птиц Предалтайской равнины (1998, 2003–2005, 2014–2016 гг.)
[Assessment of the strength and generality of the connection between environmental factors and bird population heterogeneity of the Prealtai plain (1998, 2003-2005, 2014-2016)]

Фактор, режим [Environmental factor, mode]	Учтённая дисперсия [Explained dispersion], %	
	индивидуально [individual]	нарастающим итогом [cumulative total]
Антропогенное влияние, в том числе: [Anthropogenic influence, including:]	64	64
застроенность [degree of development]	60	64
распашка [plowing]	18	64
выпас [grazing]	10	64
сенокосение [haymaking]	9	64
Кормность [Food capacity]	34	66
Состав лесообразующих пород [Forest-forming species composition]	20	71
Облесённость [Afforestation]	17	72
Увлажнённость [Moistening]	16	73
Закустаренность [Bushiness]	12	75
Рельеф (заливание в половодье) [Relief (flooding)]	10	75
Обводнённость [Watering]	10	76
Заболоченность [Swampiness]	10	76
Зональность [Zonality]	1	76
Размер водотоков [Size of watercourses]	0,8	77
Характер берегов [Nature of river banks]	0,6	77
Все факторы [All environmental factors]	77	77
Режимы по классификации [Modes by classification]	78	86
по структуре [Modes by structure]	82	87
Все режимы [All natural modes]	82	87
Все факторы и режимы [All environmental factors and modes]	87	87
Множественный коэффициент корреляции [Multiple correlation coefficient]	0,93	

Всей совокупностью перечисленных факторов учитывается 77% дисперсии, а природными режимами по классификации и структуре – 78 и 82%. Вместе все факторы и режимы объясняют 87% дисперсии населения птиц во II половине лета, что соответствует коэффициенту корреляции, равному 0,93%.

Помимо Предалтайской равнины, преобладание антропогенных факторов над естественными отмечено также в Тоболо-Иртышской лесостепи и

степи и в лесостепи Средней Сибири [37, 38]. В первой из них наиболее значимы застроенность и макроурбанизация, включающая антропогенно-повышенную кормность и озеленённость местообитаний, а во второй – застроенность, значимость которой в 2,5 раза выше показателей развитости травяного яруса, облесённости и состава лесообразующих пород. В то же время в степной зоне Обь-Иртышского междуречья [18] неоднородность населения птиц больше зависит от факторов, связанных с водностью территории: развитости тростниковых зарослей, засоленности водоёма и размера акватории, а не от антропогенного влияния, доля которого невелика. В менее трансформированных ландшафтах лесной зоны Западной и Средней Сибири и горных провинций Алтая ведущую роль в пространственной неоднородности населения птиц играют облесённость, состав лесообразующих пород, продуктивность и кормность [1, 11–16].

Итак, в отличие от менее нарушенных лесных ландшафтов на Предалтайской равнине, как и в лесостепи и степи Тоболо-Иртышского междуречья Западной Сибири и лесостепи Средней Сибири, на территориальную неоднородность населения птиц антропогенные факторы влияют в большей степени, чем естественные. Это вызвано значительно меньшей площадью лесов, засушливостью климата и повсеместной сельскохозяйственно-сели-тебной деградацией ландшафтов лесостепных и степных районов. Однако при увеличении количества и площади водоёмов, а также тростниковых займищ на первое место в распределении степных орнитокомплексов переходят факторы, связанные с водностью территории.

Заключение

При классификации населения птиц Предалтайской равнины во II половине лета выявлено три слабо связанных друг с другом надтипа: орнитокомплексов незастроенной и застроенной суши и водно-околоводных сообществ. По сравнению с гнездовым периодом меньшая дифференциация населения птиц отмечена в группах сообществ застроенных местообитаний и водотоков, а большая – в полевых и лугово-степных орнитокомплексах. Основные тренды территориальных изменений населения птиц обусловлены облесённостью, увлажнённой, распашкой, застроенностью, сенокосением, обводнённой, а также размерами водотоков и характером берегов малых рек. Возрастание суммарного обилия птиц прослежено при увеличении застроенности и антропогенной кормности, а также при росте увлажнённости и мозаичности местообитаний. Снижение плотности населения отмечено при сенокосении, распашке без посевов и при увеличении закустаренности берегов малых рек. Наибольшую значимость в пространственной неоднородности населения птиц Предалтайской равнины имеют антропогенные факторы (застроенность, распашка, выпас скота и сенокосение) и кормность. Менее значимы в определении облика орнитокомплексов

факторы естественного происхождения – состав лесообразующих пород, облесённость, увлажнённость, закустаренность, различия в рельефе, обводнённость и заболоченность.

Авторы выражают искреннюю благодарность д-ру биол. наук Ю.С. Равкину за замечания и редактирование рукописи, а также И.Н. Богомоловой и М.И. Лялиной (ИСиЭЖ СО РАН, г. Новосибирск) за помощь в проведении расчётов. Особую благодарность мы выражаем канд. биол. наук А.А. Одиной (ИСиЭЖ СО РАН, г. Новосибирск) за помощь в проведении учётов птиц в 2014 г.

Литература

1. Равкин Ю.С. Пространственная организация населения птиц лесной зоны (Западная и Средняя Сибирь). Новосибирск : Наука, 1984. 264 с.
2. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.
3. Вознийчук О.П. Пространственная структура и организация населения наземных позвоночных Центрального Алтая : дис. ... канд. биол. наук . Новосибирск : Институт систематики и экологии животных СО РАН, 2014. 161 с.
4. Сушкин П.П. Птицы Советского Алтая. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1938. Т. 1. 320 с.; Т. 2. 435 с.
5. Ирисов Э.А. Птицы // Энциклопедия Алтайского края / ред. В.Т. Мищенко. Барнаул, 1995. Т. 1. С. 74–77.
6. Ирисова Н.Л., Гармс О.Я., Вотинов А.Г., Чупин И.И., Иноземцев А.Г., Рыжков Д.В. Птицы Верхнего Приобья (Алтайский край) // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири / ред. В.К. Рябицев. Екатеринбург, 1999. С. 96–108.
7. Кучин А.П. Птицы Алтая. 2-е изд., доп. Горно-Алтайск, 2004. 778 с.
8. Кучин А.П. Птицы Алтая. Воробьиные. 2-е изд., доп. и переработ. Горно-Алтайск, 2007. 356 с.
9. Петров В.Ю. Фауна птиц ленточных боров Обь-Иртышского междуречья // Алтайский зоологический журнал. 2008. Вып. 2. С. 161–172.
10. Петров В.Ю. К распространению птиц в сосновых лесах ленточных боров Обь-Иртышского междуречья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. С. 33–35.
11. Равкин Ю.С. Птицы Северо-Восточного Алтая. Новосибирск : Наука, 1973. 375 с.
12. Цыбулин С.М. Птицы Северного Алтая. Новосибирск : Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. 519 с.
13. Бочкарёва Е.Н., Ирисова Н.Л. Птицы Тигирекского заповедника. Барнаул, 2009. 209 с.
14. Цыбулин С.М. Птицы Алтая: пространственно-временная дифференциация, структура и организация населения. Новосибирск : Наука, 2009. 234 с.
15. Торопов К.В., Граждан К.В. Птицы Северо-Восточного Алтая: 40 лет спустя. Новосибирск : Наука-Центр, 2010. 394 с.
16. Бочкарёва Е.Н., Ливанов С.Г. Птицы Центрального Алтая: численность, распределение и пространственно-временная дифференциация населения. Новосибирск : Наука-Центр, 2013. 544 с.
17. Равкин Ю.С., Цыбулин С.М., Вартапетов Л.Г., Ливанов С.Г., Торопов К.В., Жуков В.С., Юдкин В.А. Пространственная структура и организация населения птиц Алтая и

- Западно-Сибирской равнины // Сибирский экологический журнал. 2007. № 6. С. 877–884.
18. Торопов К.В. Птицы колючей степи Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 2008. 356 с.
 19. Беликова Е.А. Пространственно-временная структура населения птиц города Бийска Алтайского края // Естественные и технические науки. 2007. № 6. С. 62–64.
 20. Pabellon T. Winter birds census in Spain: organization and results // Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census and Atlas work / K. Taylor, R.J. Fuller, P.C. Lack (eds.). Newland Park : British Trust for Ornithology, 1985. PP. 117–122.
 21. Bogucki Z., Bednorz J. Bird communities and populations in various types of forest // Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census and Atlas work / K. Taylor, R.J. Fuller, P.C. Lack (eds.). Newland Park : British Trust for Ornithology, 1985. PP. 304.
 22. Kurlavichus P. Biotopical distribution of birds in Lithuanian forest islands surrounded by fields // Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census and Atlas work / K. Taylor, R.J. Fuller, P.C. Lack (eds.). Newland Park : British Trust for Ornithology, 1985. PP. 309.
 23. Gintaras M. Influence of recreation on forest ornithofauna in the west Lithuanian spruce woods // Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC / E.J.M. 24. Hagemeyer, T.J. Verstrael (eds.). Noordwijkerhout : Voorburg/Heerlen, 1992. PP. 67.
 24. Stastny K., Bejcek V., Janda J., Flousek J. Monitoring bird populations in Czechoslovakia // Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC / E.J.M. Hagemeyer, T.J. Verstrael (eds.). Noordwijkerhout : Voorburg/Heerlen, 1992. PP. 161.
 25. Rabaca J. E. Bird communities of olive tree (*Olea Europaea*) plantations in Portugal: a preliminary approach // Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC / E.J.M. Hagemeyer, T.J. Verstrael (eds.). Noordwijkerhout : Voorburg/Heerlen, 1994. PP. 97–100.
 26. Vogrin M. Composition and structure of bird communities in traditional orchards on Mt. Pohorje (Slovenia) // Bird Numbers 1998 where Monitoring and Ecological Research meet: Proceedings of the 14th International Conference of the European Bird Census Council (EBCC). Cottbus, 1998. PP. 80.
 27. Алтайский край: Атлас. Т. 1 / гл. ред. И.С. Процюк. Москва ; Барнаул : Гос. управл. геодезии и картографии СССР, 1978. 222 с.
 28. Равкин Ю.С. К методике учёта птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. 1967в. С. 175–191.
 29. Равкин Ю.С., Доброхотов Б.П. К методике учёта птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время // Организация и методы учёта птиц и вредных грызунов. 1963. С. 130–136.
 30. Трофимов В.А., Равкин Ю.С. Экспресс-метод оценки связи пространственной неоднородности животного населения и факторов среды // Количественные методы в экологии животных. Л., 1980. С. 135–138.
 31. Jaccard P. Lois de distribution florale dans la zone alpine // Bull. Soc. Vaund. Sci. Nat. 1902. Vol. 38. P. 69–130.
 32. Наумов Р.Л. Птицы в очагах клещевого энцефалита Красноярского края : дис. ... канд. биол. наук. М. : Ин-т медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е.И. Марциновского, 1964. 149 с.
 33. Равкин Ю.С., Куперштох В.Л., Трофимов В.А. Пространственная организация населения птиц // Птицы лесной зоны Приобья / Ю.С. Равкин. Новосибирск : Наука, 1978. С. 253–269.

34. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Учён. зап. Моск. пед. ин-та им. Крупской. 1962. Т. 109. С. 3–182.
35. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской федерации. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. 256 с.
37. Штегман Б.К. Основы орнитологического деления Палеарктики. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1938. 157 с.
37. Жуков В.С. Птицы лесостепи Средней Сибири. Новосибирск : Наука, 2006. 492 с.
38. Соловьёв С.А. Птицы Тоболо-Иртышской лесостепи и степи: Западная Сибирь и Северный Казахстан. Т. 1: Пространственная структура и организация населения. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. 294 с.

*Поступила в редакцию 15.11.2017 г.; повторно 25.02.2018 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.*

Авторский коллектив:

Макаров Александр Владимирович – ведущий инженер лаборатории зоологического мониторинга Института систематики и экологии животных СО РАН (630091, г. Новосибирск, Россия, ул. Фрунзе, 11).
E-mail: al_micromammals@mail.ru

Беликова Елена Анатольевна – преподаватель Алтайского колледжа промышленных технологий и бизнеса (659321, г. Бийск, Россия, ул. Советская, 210/1).
E-mail: e.a.belikova@mail.ru

Бочкарёва Елена Николаевна – канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории зоологического мониторинга Института систематики и экологии животных СО РАН (630091, г. Новосибирск, Россия, ул. Фрунзе, 11).
E-mail: benbirds@mail.ru

For citation: Makarov AV, Belikova EA, Bochkareva EN. Spatial-typological structure and organization of the bird population of the Prealtai plain in the second half of the summer. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:96-117. doi: 10.17223/19988591/41/6 In Russian, English Summary

Aleksandr V. Makarov¹, Elena A. Belikova², Elena N. Bochkareva¹

¹ *Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

² *Altai College of Industrial Technology and Business, Bysk, Russian Federation*

Spatial-typological structure and organization of the bird population of the Prealtai plain in the second half of the summer

The paper presents information on the spatial heterogeneity of the bird population of the Prealtai plain in the second half of the summer. We compiled the classification and the spatial-typological structure of the ornithocomplexe heterogeneity and assessed the strength of the connection between environmental factors and heterogeneity of communities. We conducted bird counting in 2003-2005 and from 2014 to 2016 at four key sections of the Prealtai plain. The first section was located in the eastern part of the Prealtai plain within moderately moist meadow-steppe and forest-steppe landscapes, and the second site included the residential habitats of Biysk (Biysk and Krasnogorsk districts of Altai Krai). The third and fourth key sections were located in the central and western part of the Prealtai plain within arid and the moderately arid steppe landscapes (Petrovavlovsk and Kur'inskiy districts of Altai Krai). 42 variants of bird population were analyzed and 158 species were counted for all years. Birds were counted on

permanent routes, without limitation of the transect width. The recalculation for the area was conducted over average detection distances (Ravkin, 1967). The total length of the main registration routes was 795 km. The results of all bird counts are given as the number of individuals per 1 km². We classified the bird population using one of the methods of cluster analysis (factor classification) (Trofimov, Ravkin, 1980). All the considered variants of ornithocomplexes were divided into an unspecified number of groups according to the degree of similarity of each sample with all the others. The Jacquard coefficient was used as a measure of similarity (Jaccard, 1902; Naumov, 1964). The spatial-typological structure was constructed on the matrix of average coefficients of similarity at the level of the bird community subtype.

In the second half of the summer, the maximum total abundance of birds was recorded in built-up habitats (1793-1873 individuals per km²). The number of birds was 1.7 times less in floodplain meadows with bushes, and also in wet meadows outside the floodplain with coppices and in lowland swamps (1103). There were 3-3.5 times fewer birds in field, meadow-steppe and forest ornithocomplexes (505-599). More than five times fewer birds were in stubble fields of forage grasses and meadow-pastures adjoining them (322), and the minimum was observed in fallow lands (84). In the group of aquatic communities, the greatest number of birds was on small rivers with open banks (1284-1607), and significantly fewer were with increasing bushiness of banks and watercourse areas (140-409). The greatest number of species was noted in the subtype of floodplain meadows with shrubs, wet meadows outside the floodplain with coppices and lowland swamps (105/64), which is due to high patchiness of habitats, moistening, bushiness and food capacity. A decrease in the total number of encountered and background species was observed in forest and residential ornithocomplexes (71/46 and 72/32). In residential ornithocomplexes, the total number of species is the highest in the areas of urban multi-storey buildings, industrial zones and settlements (69/31) and much less in urban one-storey buildings and gardens (23/20). Then, the species richness decreases in the ornithocomplexes of fields, steppe meadows and meadow steppes (55/29), in stubble fields of forage grasses (34/24), in feather-grass steppes (19/15) and in fallow lands (9/7), that is, as plowing, grazing, haymaking and steppification increase. In aquatic communities, the species richness of birds is the highest in the population subtype of large and medium-sized rivers (32/16), and also on small rivers with open pebble-silt banks (21/19). With an increase in bank bushiness and, correspondingly, with a decrease in the food availability for birds, the number of species reduces (10/9). In the spatial-typological structure of the bird population, we examined subtype groups: undeveloped and build-up areas and aquatic communities. On the structural graph, the main trends in the change in the bird population are associated with afforestation, moistening, plowing, degree of development, haymaking, watering, watercourse size and the nature of small river banks (See Fig.). In forest habitats, the willow tit (*Parus montanus* Conrad von Baldenstein, 1827), the great tit (*Parus major* Linnaeus, 1758) and the chaffinch (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) prevail. With a decrease in afforestation and an increase in habitat patchiness and bushiness, the blyth's reed-warbler (*Acrocephalus dumetorum* Blyth, 1849), the common whitethroat (*Sylvia communis* Latham, 1787) and the black-crowned goldfinch (*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758) appear among the dominants, and as plowing and steppification increase, inhabitants of open spaces (the Eurasian skylark (*Alauda arvensis* Linnaeus, 1758), the Siberian stonechat (*Saxicola maurus* Pallas, 1773) and the booted warbler (*Iduna caligata* Lichtenstein, 1823)) begin to dominate. Under the influence of haymaking on fields of forage grasses and reduction in productivity in fallow lands, the population density of birds decreases two and seven times, respectively, in comparison with other field communities.

Besides the Eurasian skylark, in the ornithocomplexes of stubble fields of forage grasses, the rook (*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758) and the Richard's pipit (*Anthus richardi* Vieillot, 1818) prevail, and in fallow lands it is the collared sand martin (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758) and the common raven (*Corvus corax* Linnaeus, 1758). An increase in the total abundance of birds with the expansion of built-up areas and anthropogenic food capacity is mainly determined by synanthropic species, i.e. the house sparrow (*Passer domesticus* Linnaeus, 1758), the Eurasian tree sparrow (*Passer montanus* Linnaeus, 1758) and the rock pigeon (*Columba livia* J.F. Gmelin, 1789). Thus, the highest bird population density on the Prealtay plain was recorded mainly in residential habitats.

Within undeveloped territories, an increase in the total abundance of birds correlates mainly with the growth of moistening and habitat patchiness and bushiness. The heterogeneity of bird population in the second half of the summer mostly depends on anthropogenic factors (64%), primarily on the degree of development (60%) and plowing (18%) (See Table). To a lesser extent, the heterogeneity of bird distribution depends on food capacity of the habitats (34%). The impact of forest-forming species composition, afforestation, moistening and bushiness is much less significant (12-20%). Thus, on the Prealtay plain the territorial heterogeneity of the bird population depends more on anthropogenic factors than on natural ones. This is due to a much smaller area of forests, arid climate and widespread agricultural and residential landscape degradation.

The paper contains 1 Figure, 1 Table and 38 References.

Key words: ornithocomplexes; cluster analysis; classification; spatial structure; heterogeneity of communities; environmental factors.

Funding: This work was partially supported by “Spatial organization of biodiversity of the West Siberian Plain (the example of the population of amphibians, reptiles, birds and small mammals)” (Grant No 16-04-00301).

Acknowledgments: We are sincerely grateful to Professor YuS Ravkin, Dr. Sci. (Biol.) (Institute of Animal Systematics and Ecology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk) for comments and editing of the manuscript, as well IN Bogomolova and MI Lyalina (Institute of Animal Systematics and Ecology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk) for help with calculations. We express our special gratitude to AA Odintseva, Cand. Sci. (Biol.) (Institute of Animal Systematics and Ecology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk) for assistance in conducting bird counts in 2014.

References

1. Ravkin YuS. Prostranstvennaya organizatsiya naseleniya ptits lesnoy zony (Zapadnaya i Srednyaya Sibir') [Spatial organization of avian population in forest: Western and Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1984. 264 p. In Russian
2. Ravkin YuS, Livanov SG. Faktornaya zoogeografiya: printsipy, metody i teoreticheskie predstavleniya [Factor zoogeography: Principles, methods and theoretical generalizations]. Vartapetov LG, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2008. 205 p. In Russian
3. Vozniyuchuk OP. *Prostranstvennaya struktura i organizatsiya naseleniya nazemnykh pozvonochnykh Tsentral'nogo Altaya* [Spatial structure and organization of the terrestrial vertebrate population in the Central Altai. CandSci. Dissertation, Zoology]. Novosibirsk: Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS; 2014. 161 p. In Russian
4. Sushkin PP. Ptitsy Sovetskogo Altaya [Birds of the Soviet Altai]. Moscow-Leningrad: The Academy of Sciences of the USSR Publ.; 1938. 320 p. In Russian

5. Irisov EA. Ptitsy [Birds]. In: *Entsiklopediya Altayskogo kraya* [Encyclopedia of Altai Krai]. Mishchenko VT, editor. Barnaul: Altay Publ.; 1995. pp. 74-77. In Russian
6. Irisova NL, Garms OYa, Votinov AG, Chupin II, Inozemtsev AG, Ryzhkov DV. Ptitsy Verkhnego Priob'ya (Altayskiy kray) [Birds of the Upper Ob region (Altai Krai)]. *Materialy k rasprostraneniyu ptits na Urale, v Priural'e i Zapadnoy Sibiri = Materials for bird distribution in the Urals, Cisurals and Western Siberia*. 1999;4:96-108. In Russian
7. Kuchin AP. Ptitsy Altaya [Birds of the Altai]. 2nd ed. Gorno-Altaysk: Gorno-Altaysk State University Publ.; 2004. 778 p.
8. Kuchin AP. Ptitsy Altaya. Vorob'inye [Birds of the Altai. Passerines]. 2nd ed. Gorno-Altaysk: Gorno-Altaysk State University Publ.; 2007. 356 p.
9. Petrov VYu. Bird fauna of ribbon woods in the area between the Ob and Irtysh Rivers. *Altayskiy zoologicheskiy zhurnal*. 2008;2:161-172. In Russian
10. Petrov VYu. K rasprostraneniyu ptits v sosnovykh lesakh lentochnykh borov Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya [On bird distribution in pine forests of ribbon pine forests of the Ob-Irtys interfluve]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altay State Agricultural University*. 2009;3(53):33-35. In Russian
11. Ravkin YuS. Ptitsy Severo-Vostochnogo Altaya [Birds of the North-Eastern Altai]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1973. 375 p. In Russian
12. Tsybulin SM. Ptitsy Severnogo Altaya [Birds of the Northern Altai]. Novosibirsk: Nauka. The Siberian Enterprise of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1999. 519 p. In Russian
13. Bochkareva EN, Irisova NL. Ptitsy Tigirekского zapovednika [Birds of the Tigirekский Reserve]. Barnaul: Proceedings of the Tigirekский State Nature Reserve Publ.; 2009. 209 p. In Russian
14. Tsybulin SM. Ptitsy Altaya: prostranstvenno-vremennaya differentsiatsiya, struktura i organizatsiya naseleniya [Birds of the Altai: The spatial-temporal differentiation and the population structure and organization]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2009. 234 p. In Russian
15. Toropov KV, Grazhdan KV. Ptitsy Severo-Vostochnogo Altaya: 40 let spustya [Birds of the Northeastern Altai: 40 years later]. Novosibirsk: Nauka-Center Publ.; 2010. 394 p. In Russian
16. Bochkareva EN, Livanov SG. Ptitsy Tsentral'nogo Altaya: chislennost', raspredelenie i prostranstvenno-vremennaya differentsiatsiya naseleniya [Birds of the Central Altai: Abundance, distribution and spatial-temporal differentiation of the population]. Novosibirsk: Nauka-Center Publ.; 2013. 544 p. In Russian
17. Ravkin YuS, Tsybulin SM, Vartapetov LG, Livanov SG, Toropov KV, Zhukov VS, Yudkin VA. Spatial structure and organization of the bird communities in the Altai and West-Siberian Plain. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*. 2007;6:877-884 p. In Russian
18. Toropov KV. Ptitsy kolochnoy stepi Zapadnoy Sibiri [Birds of the birch-aspen steppe with groves in West Siberia]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2008. 356 p. In Russian
19. Belikova EA. Prostranstvenno-vremennaya struktura naseleniya ptits goroda Biyska Altayskogo kraya [Spatial-temporal structure of bird communities in Biysk, Altai Krai]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and Technical Sciences*. 2007;6(32):62-64. In Russian
20. Pabellon T. Winter birds census in Spain: organization and results. In: *Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census and Atlas work*. Taylor K, Fuller RJ and Lack PC, editors. Newland Park: British Trust for Ornithology Publ.; 1985. pp. 117-122.
21. Bogucki Z, Bednorz J. Bird communities and populations in various types of forest. In: *Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census*

- and Atlas work. Taylor K, Fuller RJ, Lack PC, editors. Newland Park: British Trust for Ornithology Publ.; 1985. pp. 304.
22. Kurlavichus P. Biotopical distribution of birds in Lithuanian forest islands surrounded by fields. In: *Bird census and atlas studies: Proceedings of the VIII International Conference on Bird Census and Atlas work*. Taylor K, Fuller RJ, Lack PC, editors. Newland Park: British Trust for Ornithology Publ.; 1985. pp. 309.
 23. Gintaras M. Influence of recreation on forest ornithofauna in the west Lithuanian spruce woods. In: *Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC*. Hagemeyer EJM, Verstrael TJ, editors. Noordwijkerhout: Voorburg/Heerlen Publ.; 1992. pp. 67.
 24. Stastny K, Bejcek V, Janda J, Flousek J. Monitoring bird populations in Czechoslovakia. In: *Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC*. Hagemeyer EJM, Verstrael TJ, editors. Noordwijkerhout: Voorburg/Heerlen Publ.; 1992. pp. 161.
 25. Rabaca JE. Bird communities of olive tree (*Olea Europaea*) plantations in Portugal: a preliminary approach. In: *Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects: Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC*. Hagemeyer EJM, Verstrael TJ, editors. Noordwijkerhout: Voorburg/Heerlen Publ.; 1994. pp. 97-100.
 26. Vogrin M. Composition and structure of bird communities in traditional orchards on Mt. Pohorje (Slovenia). In: *Bird Numbers 1998 where Monitoring and Ecological Research meet: Proceedings of the 14th International Conference of the European Bird Census Council (EBCC)*. Helbig A, Flade M, editors. Cottbus: AULU-Verlag Publ.; 1998. pp. 80.
 27. *Altayskiy kray: Atlas*. T. 1. [Altai Region: Atlas. Vol. 1.]. Protsyuk IS, editor. Moscow-Barnaul: The Main Organization of geodesy and cartography of the USSR Publ.; 1978. 222 p. In Russian
 28. Ravkin YuS. K metodike ucheta ptits lesnykh landshaftov [Method of describing forest landscape birds]. In: *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita na Altae* [The nature of encephalitis outbreaks in the Altai]. Maksimov AA, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1967. pp. 175-191. In Russian
 29. Ravkin YuS, Dobrochotov BP. K metodike ucheta ptits lesnykh landshaftov vo vne gnezdovoe vremya [Method of describing forest landscape birds outside the breeding season]. In: *Organizatsiya i metody ucheta ptits i vrednykh gryzunov* [Organization and methods of bird and harmful rodent registration]. Moscow: The Academy of Sciences of the USSR Publ.; 1963. pp. 130-136. In Russian
 30. Trofimov VA, Ravkin YuS. Ekspres-metod otsenki svyazi prostranstvennoy neodnorodnosti zhivotnogo naseleniya i faktorov sredy [Express method for assessing the relationship between the spatial heterogeneity of animal population and environmental factors]. In: *Kolichestvennye metody v ekologii zhivotnykh* [Quantitative methods in the ecology of animals]. Leningrad: Nauka Publ.; 1980. pp. 135-138. In Russian
 31. Jaccard P. Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bulletin de la Societe Vaudoise des Sciences Naturelles*. 1902;144(38):69-130. In France
 32. Naumov RL. Ptitsy v ochagakh kleshchevogo entsefalita Krasnoyarskogo kraya [Birds in tick-borne encephalitis foci in Krasnoyarsk region. Cand. Sci. Dissertation, Biology]. Moscow: EI Marcinovskiy Institute of Medical Parasitology and Tropical Medicine; 1964. 149 p. In Russian
 33. Ravkin YuS, Kupershtokh VL, Trofimov VA. Prostranstvennaya organizatsiya naseleniya ptits [Spatial organization of bird communities]. In: *Ptitsy lesnoy zony Priob'ya* [Birds of the forest zone of the Ob river region]. Ravkin YuS, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1978. pp. 253-269. In Russian
 34. Kuz'yakin AP. Zoogeografiya SSSR [Zoogeography of the USSR]. In: *Uchenye zapiski Moskovskogo pedagogicheskogo instituta imeni Krupskoy* [Proceedings of Moscow

- Pedagogical Institute named after NK Krupskaya]. Moscow: MOIP Publ.; 1962;109(1):3-182. In Russian
35. Koblik EA, Red'kin, YaA, Arkhipov VYu. Spisok ptits Rossiyskoy federatsii [Checklist of birds of the Russian Federation]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd; 2006. 256 p. In Russian
 36. Shtegman BK. Osnovy ornitogeograficheskogo deleniya Palearktiki [Basics of the ornithogeographical division of the Palaearctic]. In: *Fauna SSSR. Pticy* [The Fauna of the USSR. Birds.] Vol. 1. Iss. 2. Moscow-Leningrad: Izdatel'stvo akademii nauk SSSR Publ.; 1938. 157 p. In Russian
 37. Zhukov VS. Ptitsy lesostepi Sredney Sibiri [Birds of the Middle Siberia forest-steppe]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2006. 492 p. In Russian
 38. Solov'ev SA. Ptitsy Tobolo-Irtyshskoy lesostepi i stepi: Zapadnaya Sibir' i Severnyy Kazakhstan. T. 1: Prostranstvennaya struktura i organizatsiya naseleniya [Birds of the Tobol-Irtysh forest-steppe and steppe: Western Siberia and Northern Kazakhstan. Vol. 1: Spatial structure and organization of the population]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2012. 294 p. In Russian

Received 15 November 2017; Revised 25 February 2018;

Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018

Author info:

Makarov Aleksandr V, Leading Engineer, Laboratory of Zoological Monitoring, Institute of Animal Systematics and Ecology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 11 Frunze Str., Novosibirsk 630091, Russian Federation.

E-mail: al_micromammals@mail.ru

Belikova Elena A, Teacher, Altai College of Industrial Technologies and Business, 210/1 Sovetskaya str., Biysk 659321, Russian Federation.

E-mail: e.a.belikova@mail.ru

Bochkareva Elena N, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Zoological Monitoring, Institute of Animal Systematics and Ecology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 11 Frunze Str., Novosibirsk 630091, Russian Federation.

E-mail: benbirds@mail.ru

УДК 574.633: 581.526.325.2
doi: 10.17223/19988591/41/7

Т.В. Дрозденко, С.Г. Михалап

Псковский государственный университет, Псков, Россия

Структурно-таксономическое разнообразие и экологические особенности фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 17-12-60005 а (р).

Рассмотрена возможность определения экологического состояния водоема по показателям фитопланктона. Показан таксономический состав фитопланктона дельты р. Великой в летний период 2016 г. Установлено, что основу альгофлоры составляют диатомовые и зеленые водоросли. Представлено биоразнообразие фитопланктона на альфа- и бета-уровнях. Дана эколого-географическая характеристика микроводорослей, согласно которой для альгофлоры дельты р. Великой характерно абсолютное преобладание космополитных пресноводных форм, предпочитающих нейтральные и слабощелочные воды. Проведен сапробиологический анализ качества воды, согласно которому установлена средняя степень загрязнения вод в дельте р. Великой. Показано сравнение полученных результатов с исследованиями прошлых лет.

Ключевые слова: *экологический мониторинг; фитопланктон; таксономический состав; сапробность; бассейн Чудско-Псковского озера.*

Введение

Биоразнообразие имеет важнейшее значение для мониторинга, поскольку является обобщенным показателем стабильности природных систем, изменение которого свидетельствует об их структурно-функциональной перестройке. Несмотря на достаточно давнее обсуждение темы многообразия в биосфере, впервые серьезное международное внимание этому вопросу уделили только в 1992 г., когда большинство мировых лидеров подписали Конвенцию о биологическом разнообразии в Рио-де-Жанейро [1].

Являясь интегральной экологической характеристикой, биоразнообразие играет важную роль в эволюционном и пространственно-временном развитии экосистем. Одним из важнейших критериев, доказывающих достижение экосистемой стабильного климаксного состояния, является существование в ней большого количества видов, разделяющих доступные ресурсы [2]. Анализируя многообразие элементов в экосистемах, следует учитывать систем-

ный характер биологических процессов, который предполагает сопряженное взаимодействие на всех структурных уровнях [3, 4]. Роль биоразнообразия в поддержании стабильности экосистем доказана целым рядом исследований [5, 6]. Вместе с тем необходимо учитывать значительное влияние внешних факторов среды, взаимодействие которых создает уникальные условия для формирования биоразнообразия. Весь комплекс взаимодействующих абиотических и биотических факторов делает изучение паттернов биологического разнообразия чрезвычайно сложной задачей, требующей многоуровневого подхода и привлечения сложных математических методов анализа, мощных средств обработки данных и моделирования.

Особую роль в биосфере играют водные экосистемы, характеризующиеся повышенной скоростью круговорота вещества и энергии и предоставляющие широкий спектр экосистемных услуг, таких как пищевые продукты, чистая вода, переработка отходов, круговорот питательных веществ, аккумуляция естественного углерода и рекреационные ресурсы. Водные экосистемы особенно чувствительны к таким процессам, как урбанизация и изменение климата, в силу высокой скорости метаболизма и сложной структурно-функциональной организации, особенности которой отражают существующие в таких экосистемах уровни биоразнообразия [7].

Ключевое значение в водных экосистемах имеют сообщества микроводорослей, которые лежат в основе всех существующих трофических сетей в водоемах. Именно фитопланктон первым реагирует на начальные изменения в водной экосистеме перестройкой своей внутренней структуры и изменением функционирования. Анализ биологического разнообразия сообществ микроводорослей позволяет получить полноценную картину о состоянии водной экосистемы и характере происходящих в ней изменений естественного или антропогенного характера [1, 8, 9]. Помимо теоретического, это имеет и важное прикладное значение, поскольку структура и динамика продуцентов в конечном итоге определяют формирование всей трофодинамической структуры водной экосистемы и предоставляют необходимые показатели для оценки аквакультурного потенциала любого водоема.

Цель работы – изучение структурно-таксономического разнообразия и экологических особенностей фитопланктона дельты р. Великой.

Материалы и методики исследований

В качестве модельной экосистемы для оценки биоразнообразия сообществ микроводорослей использовалась дельта р. Великой, расположенная в 8 км к северо-западу от г. Пскова. Она представляет собой уникальный природный комплекс, в котором происходят соединение и трансформация водных масс реки и водоприемного бассейна Псковско-Чудского озера. По форме дельта близка к треугольнику, длина которого по медиане составляет 4,2 км, а ширина около 4 км. Ее общая площадь равна 2,7 км². Дельта пред-

ставлена комплексом низких заболоченных островов, разделенных протоками [10].

Положение дельты р. Великой, испытывающей на себе комплексное воздействие водных масс Чудско-Псковского водоема, континентальной суши и группы островов дельты, обуславливает некоторые особенности ее мезоклиматического режима. Рассматриваемый участок характеризуется более мягкой и короткой зимой и более длительным и солнечным летом, что оказывает благоприятное влияние на вегетацию растительности. Данный район отличается от других ландшафтов северной части Псковской области более благоприятным климатическим балансом [10]. Сочетание этих факторов позволяет отметить дельту р. Великой как территорию с хорошим потенциалом для образования первичной продукции водных экосистем, а также как природный экотон, постоянно испытывающий на себе антропогенное воздействие.

В летний период 2016 г. проведены исследования в дельте р. Великой на пяти станциях: Вайменка, Большая Листовка, Средняя, Горки и Муровицы (рис. 1). Гидробиологический материал собран пластиковыми пробоотборниками объемом 0,5 л с глубины 0,3–0,5 м. Пробы фитопланктона зафиксированы 40%-ным раствором формалина до слабого запаха и обработаны по стандартной методике [11–13]. Все организмы по возможности определены до вида с использованием микроскопа Carl Zeiss Axio Lab. A1 (Германия) с помощью отечественных и зарубежных определителей [14–23].



Рис. 1. Станции отбора проб в дельте р. Великой
[Fig. 1. Sampling stations in the Velikaya River delta]

Определение численности фитопланктона проведено стандартным методом с использованием камеры Нажотта ($V = 0,05 \text{ см}^3$) [13].

Биоразнообразии изучено на альфа- и бета-уровнях. Для изучения параметров альфа-разнообразия сообществ рассчитаны индекс разнообразия Шеннона, индекс доминирования Симпсона, индекс Маргалефа и индекс выравненности Пиелу [1, 8]. Анализ сходства таксономического состава водорослей в разных точках отбора проб (бета-разнообразие) проведен с использованием индекса Серенсена–Чекановского [24]. Для сравнения сообществ микроводорослей дельты р. Великой по видовой структуре использован кластерный анализ [25]. В качестве метода присоединения использован метод Варда, который отличается тем, что минимально увеличивает внутриклассовую дисперсию, т.е. создает наиболее компактные по степени сходства группы элементов. Для комплексного представления показателей видовой богатства и выравненности сообществ микроводорослей построены кривые доминирования–разнообразия [8, 25].

Для выделения экологических групп и уточнения эколого-географических характеристик водорослей использованы определители [14–23] и данные из ряда монографий [26, 27]. Индекс сапробности рассчитан по методу Пантле–Букка в модификации Сладечека [8].

Все этапы статистической обработки данных и построение графических изображений (таблицы, диаграммы, гистограммы) выполнены с использованием программ StatSoft STATISTICA 8.0 и MO Excel. Карта подготовлена с помощью свободно распространяемой ГИС-программы QGIS 2.12.1 (Международный сетевой проект) в виде векторных слоев в системе координат UTM 84.

Результаты исследования и обсуждение

Согласно гидрохимическим данным, воды дельты р. Великой являются карбонатно-кальциевыми с повышенным содержанием ионов группы азота, что свидетельствует об активных процессах минерализации органического вещества [29, 30]. Показатель рН во всех точках отбора проб изменяется в пределах 7,5–8,0.

Важнейшим показателем для жизнедеятельности организмов в водной среде является концентрация растворенного кислорода. Результаты количественного химического анализа показывают, что уровень растворенного кислорода является удовлетворительным для существования гидробионтов и составляет в летний период 8,5–9,0 мг/дм³.

В ходе исследования качественного состава летнего фитопланктона дельты р. Великой выявлено 165 таксонов рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам, 11 классам, 18 порядкам, 43 семействам, 90 родам (табл. 1).

Таблица 1 [Table 1]

Таксономический состав фитопланктона дельты р. Великой, лето 2016 г.
[Taxonomic composition of phytoplankton in the Velikaya River delta, summer 2016]

Отдел [Phylum]	Класс [Class]	Порядок [Order]	Семей- ство [Family]	Род [Genus]	Вид [Species]	Доля от общего числа видов, % [Proportion of the total number of species,%]
<i>Bacillariophyta</i>	2	5	15	29	61	37,0
<i>Chlorophyta</i>	3	5	17	32	56	33,9
<i>Cyanobacteria</i>	2	3	6	11	16	9,7
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	6	10	6,1
<i>Chrysophyta</i>	1	1	1	7	10	6,1
<i>Dinophyta</i>	1	1	1	2	5	3,0
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	2	5	3,0
<i>Xanthophyta</i>	1	1	1	1	2	1,2
Итого [Total]	12	18	43	90	165	100

Распределение микроводорослей по отделам показало явное доминирование *Bacillariophyta* – 37,0% от общего числа видов (61 вид) и *Chlorophyta* – 33,9% (56 видов). Среди диатомовых наиболее богаты по числу видов семейства *Naviculaceae* Kütz. и *Fragilariaceae* Grev., включающие 14 и 11 видов соответственно. Среди зеленых выделяются семейства *Scenedesmaceae* Oltm. (13 видов) и *Selenastraceae* (Blach. et Tansl.) Fritsch (9 видов). На представителей данных отделов приходится в совокупности 32 семейства, 61 род и 117 видов (см. табл. 1). Доминирование данных отделов характерно для водоемов северо-западного региона [31].

На третьем месте по видовому богатству находится отдел *Cyanophyta* / *Cyanoprokaryota* / *Cyanobacteria* – 9,7% (16 видов).

На долю остальных отделов по числу видов приходится меньший процент: *Chrysophyta* и *Euglenophyta* – по 6,1% от общего числа, *Cryptophyta* и *Dinophyta* – по 3,0% (рис. 2). Желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*) представлены только двумя видами – *Tribonema affine* (G. S. West) G. S. West. и *Tribonema vulgare* Pasch.

Таким образом, альгофлора дельты р. Великой в летний период 2016 г. характеризуется как диатомово-зеленая с присутствием цианопрокариот.

Анализ видового состава фитопланктона на станциях отбора проб показал, что наибольшее число таксонов рангом ниже рода отмечено в Вайменке – 131 таксон (79,4% от общего числа видов), а наименьшее – в Муровицах – 65 (39,4%) (табл. 2).

На всех исследуемых участках дельты доминирует диатомово-зеленый комплекс альгофлоры. На станции Муровицы, в отличие от остальных, где третье место по видовому разнообразию занимает отдел *Cyanobacteria*,

преобладают представители *Chrysophyta*. На станции Средняя не обнаружены представители отдела *Euglenophyta*, а в Муравицах – *Euglenophyta* и *Xanthophyta*.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Таксономический состав фитопланктона на разных станциях
дельты р. Великой, лето 2016 г.
[Taxonomic composition of phytoplankton at different sampling
stations of the Velikaya River delta, summer 2016]**

Отделы [Phylums]	Станции отбора проб [Sampling stations]									
	Вайменка [Vaymenka]		Б. Листовка [B. Listovka]		Средняя [Srednaya]		Горки [Gorki]		Муравицы [Murovitsy]	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
<i>Bacillariophyta</i>	52	39,7	24	30,0	31	37,3	34	41,5	24	36,9
<i>Chlorophyta</i>	47	35,9	23	28,7	28	33,7	27	32,9	22	33,8
<i>Cyanobacteria</i>	12	9,2	9	11,2	10	12,1	6	7,3	4	6,2
<i>Euglenophyta</i>	5	3,8	8	10,0	0	0	1	1,2	0	0
<i>Chrysophyta</i>	8	6,1	6	7,5	6,1	7,2	5	6,1	6	9,2
<i>Dinophyta</i>	2	1,5	4	5,0	2	2,4	4	4,9	4	6,2
<i>Cryptophyta</i>	4	3,0	5	6,3	5,1	6,1	4	4,9	5	7,7
<i>Xanthophyta</i>	1	0,8	1	1,3	1	1,2	1	1,2	0	0
Итого [Total]	131	100	80	100	83	100	82	100	65	100

Проведенный анализ альфа-разнообразия фитопланктона дельты р. Великой показал, что наибольшим значением индекса Шеннона характеризуется сообщество микроводорослей станции Вайменка ($H = 3,36$), что указывает на максимальное количество составляющих его видов и отсутствие среди них выраженных доминантов. Наименьшее значение характерно для станции Средняя ($H = 2,92$) (табл. 3). В целом значения индексов Шеннона указывают на среднюю сложность структуры сообществ дельты р. Великой.

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

**Значения индексов биологического разнообразия
[Values of biodiversity indices]**

Станция [Station]	H	E	C	d
Вайменка [Vaymenka]	3,36	0,78	0,06	5,96
Б. Листовка [B. Listovka]	3,11	0,78	0,07	4,60
Средняя [Srednaya]	2,92	0,71	0,11	5,40
Горки [Gorki]	2,98	0,70	0,11	6,01
Муравицы [Murovitsy]	2,94	0,73	0,12	5,05

Примечание. H – индекс Шеннона; E – выравненность Пиелу; C – индекс Симпсона; d – индекс Маргаллефа).

[Note. H - Shannon Index; E - Pielou's Evenness Index; C - Simpson Index; d - Margalef Index]

Индекс Маргалефа отражает плотность видов, или видовое богатство, на определенной территории, т.е. чем выше значение индекса, тем большим видовым богатством характеризуется данная территория. По значению индекса Маргалефа наибольшим видовым богатством характеризуется станция Вайменка ($d = 5,96$), а наименьшим – станция Большая Листовка ($d = 4,60$). Полученные значения индекса характеризуют все станции отбора проб дельты р. Великой как богатые видами участки.

Высокое значение индекса Симпсона указывает на доминирование тех или иных видов сообщества. Именно по этой причине его еще называют индексом доминирования Симпсона. На всех исследуемых станциях дельты получены низкие значения индекса Симпсона, что соответствует сообществам с невыраженными доминантами (см. табл. 3).

Показатели индекса выравненности Пиелу, величина которого сопряжена с индексом разнообразия Шеннона, существенно не изменяются и имеют довольно высокие значения, что свидетельствует о выравненности структуры сообществ и дополнительно подтверждает отсутствие в них выраженных доминантов. При анализе сходства видового состава водорослей разных станций дельты с использованием индекса Серенсена–Чекановского наиболее высокая степень сходства выявлена между альгофлорами станций Горки и Муравицы ($Ics = 0,82$), самая низкая – между станциями Вайменка и Большая Листовка ($Ics = 0,57$). В целом степень сходства между сравниваемыми участками оценивается как высокая. Общими для всех пяти исследованных станций являются 30 видов, большая часть из которых принадлежит зеленым и диатомовым водорослям.

По особенностям видовой структуры все районы исследования дельты подразделяются на два кластера, один из которых представлен станциями Вайменка и Средняя, а другой – станциями Муравицы, Горки и Большая Листовка. Несмотря на относительно небольшую площадь, экосистема дельты р. Великой характеризуется определенной структурной гетерогенностью, что обусловлено характером течений, гидрохимическими и гидрофизическими особенностями, а также неоднородностью поступления и миграции аллохтонных веществ антропогенного происхождения. Сочетание этих факторов формирует необходимые предпосылки для экологической дифференциации сообществ микроводорослей (рис. 2).

Для представления комплексного отображения показателей видового богатства и выравненности построена кривая доминирования–разнообразия, где по оси ординат в логарифмическом масштабе отложена численность микроводорослей, а по оси абсцисс – ранжированная последовательность видов от наиболее представленного до наименее обильного (рис. 3). Все исходные данные для построения кривых получены в ходе отбора проб в летний период 2016 г. По форме и конфигурации этой кривой можно оценить не только видовую выравненность, но и функциональную роль отдельных видов, их статус и биотический потенциал, т.е. все то, что составляет основу понятия «экологическая ниша».

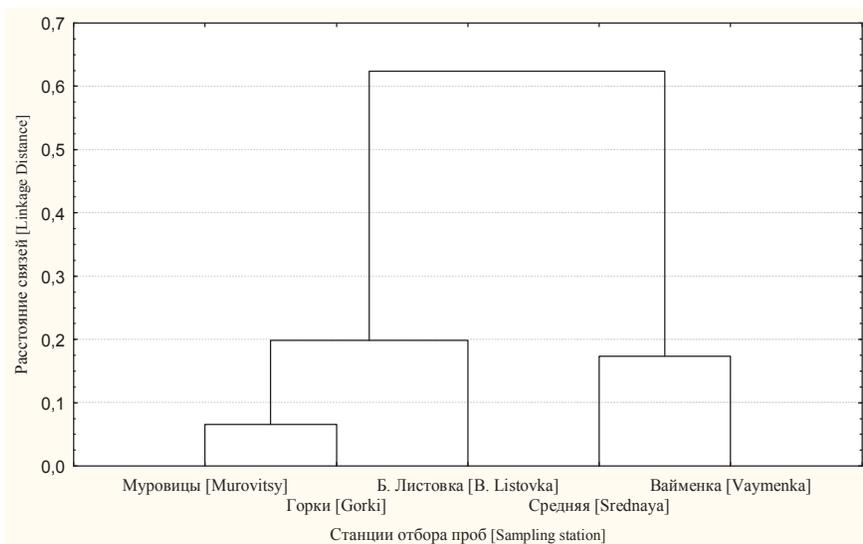


Рис. 2. Дендрограмма сходства видовой структуры сообществ фитопланктона дельты р. Великой
 [Fig. 2. Dendrogram of species structure similarities of phytoplankton communities in the Velikaya River delta]

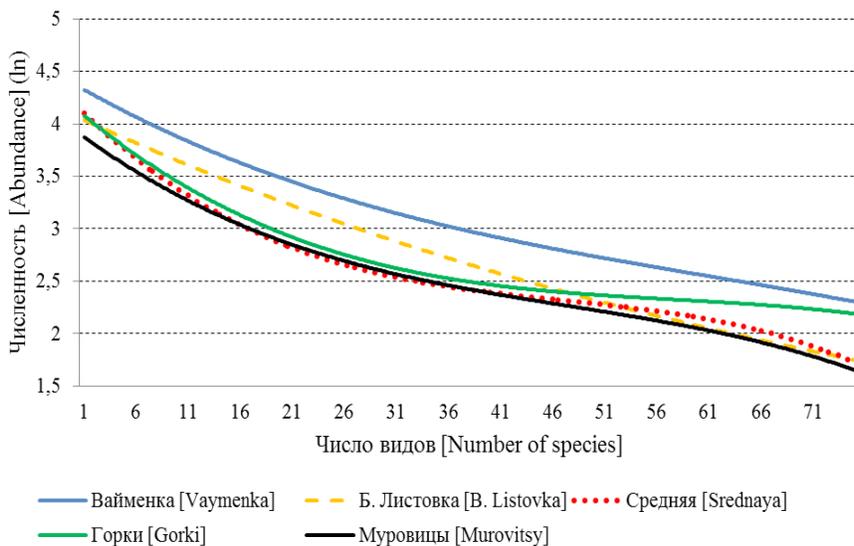


Рис. 3. Форма кривых доминирования–разнообразия для различных станций отбора проб (полиномиальная модель)
 [Fig. 3. Forms of dominance-diversity curves for different sampling stations (polynomial model). On the X-axis - Number of species; on the Y-axis - Abundance of species (ln)]

Из конфигураций кривых, представленных на рис. 3, видно, что они в наибольшей степени подобны логарифмически нормальному типу распределения [28], что соответствует гипотезе многомерного нишевого пространства, включающего большое количество перекрывающихся экологических ниш. Это свидетельствует о том, что биоразнообразию микроводорослей дельты р. Великой довольно высоко и даже на первом трофическом уровне способствует возникновению большого количества альтернативных путей передачи вещества и энергии в экосистеме.

Эколого-географический анализ данных показал, что по характеру географического распространения для альгофлоры дельты р. Великой характерно абсолютное преобладание космополитных форм (86% от числа видов, имеющих данные). Информации по распространению не выявлено у 24,8% микроводорослей. По характеру местообитания большая часть видов относится к планктонным (44%) и планктонно-бентосным (34%) формам. Обитателей бентоса (18%) и обрастаний (4%), представленных в основном диатомовыми водорослями, значительно меньше (рис. 4).

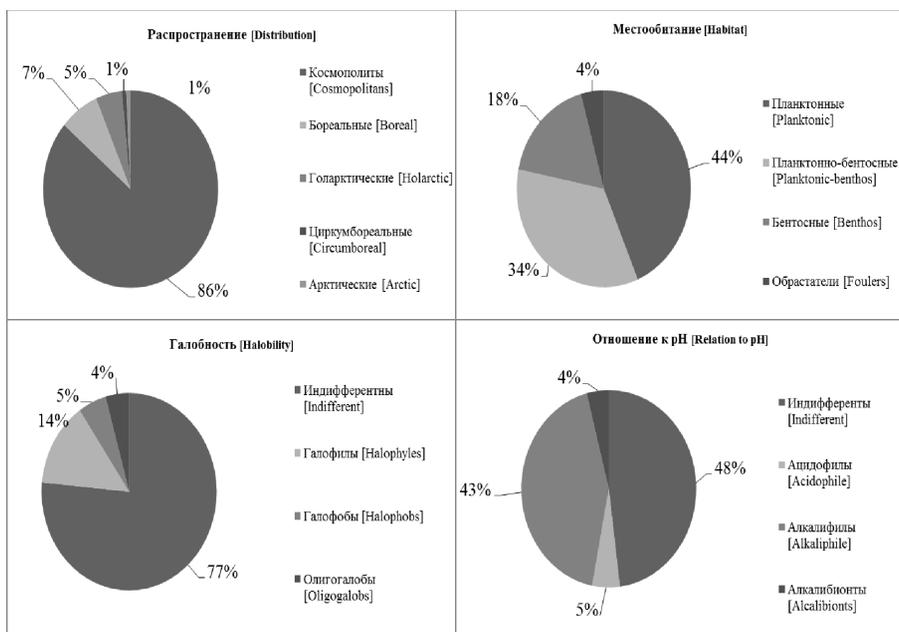


Рис. 4. Эколого-географическая характеристика фитопланктона дельты р. Великой
 [Fig. 4. Ecological and geographical characteristics of phytoplankton of the Velikaya River delta]

Все встреченные виды по отношению к минерализации вод являются олигогалобами. Среди них преобладают индифференты – 77%, а на долю галофилов и галофобов приходится 14 и 5% от общего числа видов, имеющих данные, соответственно. Данные по этому показателю не имеют 30,3 %

водорослей. Сведений по отношению к рН среды нет для 40,6% микроводорослей. На группу индифферентов приходится 48 %, алкалифилов – 43%. Невелика доля ацидофилов и алкалибионтов (см. рис. 4).

При сравнении таксономического состава обнаруженных микроводорослей со списком водорослей-индикаторов степени органического загрязнения [28] выявлено преобладание бета-мезосапробов (44,3%), указывающих на среднюю степень загрязнения вод (рис. 5). Водоросли, предпочитающие чистые воды, составляют 25,4%, из которых единично встречен ксено-олигосапроб – *Sellaphora bacillum* (Ehr.) Mann. На долю микроводорослей, предпочитающих загрязненные воды, приходится 18% от общего числа видов-индикаторов, из которых 2 вида – обитатели вод повышенной загрязненности – эвгленовые *Colacium cyclopicola* (Gickl.) Woronich. et Popova и *Euglena proxima* P.A.Dangeard. Всего обнаружено 122 вида-индикатора сапробности.

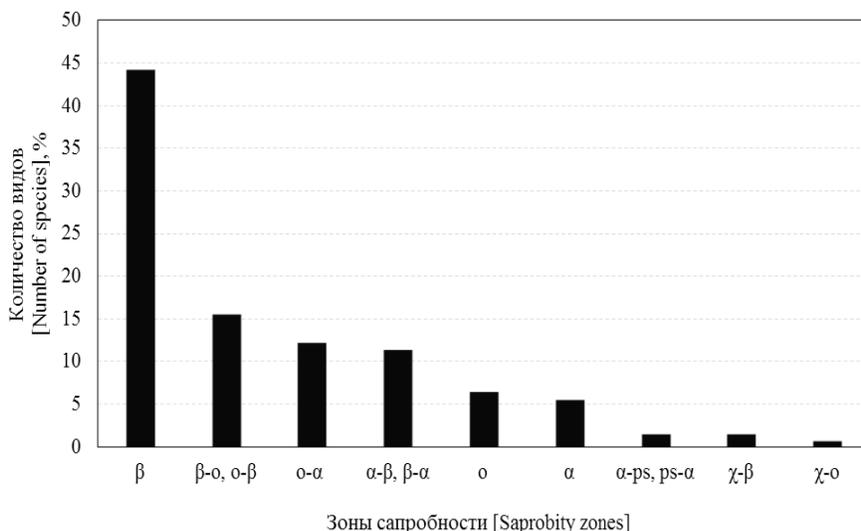


Рис. 5. Распределение видов-индикаторов сапробности дельты р. Великой по отношению к загрязнению органическими веществами (%): (χ-о) – ксено-олигосапробы; (χ-β) – ксено-β-мезосапробы; (о) – олигосапробы; (о-β) – олиго-β-мезосапробы; (β-о) – β-олиго-мезосапробы; (о-α) – олиго-α-мезосапробы; (β) – β-мезосапробы; (β-α) – β-α-мезосапробы; (α-β) – α-β-мезосапробы; (α) – α-мезосапробы; (α-ps) – α-полисапробы; (ps-α) – поли-α-мезосапробы

[Fig. 5. Distribution of species-indicators of the Velikaya River delta saprobity in relation to contamination by organic substances, %. On the X-axis - Saprobity zones; on the Y-axis - Number of species (%): (χ-о) - xeno-oligosaprobates; (χ-β) - xeno-β-mesosaprobates; (о) - oligosaprobates; (о-β) - oligo-β-mesosaprobates; (β-о) - β-oligo-mesosaprobates; (о-α) - oligo-α-mesosaprobates; (β) - β-mesosaprobates; (β-α) - β-α-mesosaprobates; (α-β) - α-β-mesosaprobates; (α) - α-mesosaprobates; (α-ps) - α-polysaprobates; (ps-α) - poly-α-mesosaprobates]

Оценка качества воды по индексу Пантле–Букка в модификации Сладечека выявила β -мезосапробный характер вод в дельте р. Великой, что позволяет отнести их к разряду умеренно загрязненных. Рассчитанные индексы сапробности варьируют в пределах 2,0–2,2 (табл. 4). Максимальные значения индекса отмечены на станциях Большая Листовка и Горки (2,2). Наименьшее значение индекса показано для станции Средняя (2,0). В целом значения индекса в точках отбора проб существенно не различаются, что характеризует дельту как относительно однородную акваторию по содержанию в воде органических загрязнителей.

Сравнение флористического состава дельты р. Великой с исследованиями прошлых лет [10] показало, что в летний период 1992 и 2000 гг. обнаружено соответственно 57 и 33 таксона микроводорослей, а в 2016 г. – 165. Это может быть связано с рядом факторов. Во-первых, в 1992 г. из-за тяжелой экономической ситуации произошла остановка крупных предприятий г. Пскова, что сказалось на чистоте р. Великой и послужило увеличению видового разнообразия фитопланктона. Во-вторых, 2000 г. являлся многоводным (Экологический мониторинг..., 2003), этим можно объяснить наличие малого количества таксонов в отобранных пробах. Также за последние годы отмечается ускорение процессов эвтрофикации в Псковско-Чудском озере, о чем свидетельствует «цветение» водоема, начинающееся с начала лета. Это проявляется увеличением в водной толще биогенных элементов, что вызывает интенсификацию роста микроводорослей. В настоящее время, по сравнению с предыдущими годами, произошло существенное зарастание дельты макрофитами, вследствие чего помимо планктонных форм в пробах встречается достаточное количество обрастателей и бентосных форм (см. рис. 4). В целом во все годы наблюдений в дельте р. Великой основу фитопланктона составлял диатомово-зеленый комплекс.

Сапробиологический анализ показал, что существенных изменений индекса сапробности с 1992 г. не наблюдается (см. табл. 4). Воды дельты р. Великой характеризуются как умеренно загрязненные и относятся к третьему классу качества.

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

**Сравнение значений индекса сапробности дельты
р. Великой в различные годы летнего сезона
[Comparison of saprobity index values of the Velikaya River delta
in different years of the summer season]**

Годы исследований [Years of study]	Значение индекса Пантле–Букка [Value of the Pantle-Buck Index]
1992	1,9–2,2
2000	1,7–2,2
2001	2,3–2,5
2016	2,0–2,2

Выводы

1. В фитопланктоне дельты р. Великой в летний период 2016 г. идентифицировано 165 видовых таксонов рангом ниже рода, принадлежащих 8 отделам, 11 классам, 18 порядкам, 43 семействам, 90 родам.

2. Экосистема дельты р. Великой характеризуется высоким видовым богатством, средней сложностью структур составляющих ее сообществ и высокой выравненностью видов, что свидетельствует об устойчивой структуре сообществ микроводорослей, образующих многомерное нишевое пространство с большим количеством альтернативных путей передачи энергии в экосистеме. Выявление определенных различий на бета-уровне указывает на существование в сообществах микроводорослей дельты определенной экологической дифференциации, которая может быть обусловлена разными условиями среды обитания.

3. Эколого-географический анализ фитопланктона показал, что в дельте р. Великой преобладают пресноводные широко распространенные планктонные виды, предпочитающие слабощелочные воды.

4. Данные сапробиологического анализа свидетельствуют об умеренном загрязнении исследуемых участков дельты р. Великой, что позволяет отнести ее воды к III классу качества.

Литература

1. География и мониторинг биоразнообразия / Н.В. Лебедева, Д.А. Кривоуццкий, Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконов, Г.М. Алещенко, А.В. Смуров, В.Н. Максимов, В.С. Тикунов, Г.Н. Огуреева, Т.В. Котова ; под ред. Н.С. Касимова, Э.П. Романовой, А.А. Тишкова. М. : Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. 432 с.
2. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи популяции и сообщества. М. : Мир, 1989. Т. 1. 667 с.; Т. 2. 477 с.
3. Одум Ю. Экология : в 2 т. М. : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
4. Kevin J. Gaston. Global patterns in biodiversity // Nature. 2000. Vol. 405. PP. 220–227. doi: [10.1038/35012228](https://doi.org/10.1038/35012228)
5. Kensa V. Mary. Biodiversity and Energy // Jr. of Industrial Pollution Control. 2012. Vol. 28 (1). PP. 95–98. URL: <http://www.icontrolpollution.com/articles/> (accessed: 20.04.2017).
6. Koshurnikova N., Verkhovets S., Antamoshkina O., Trofimova N., Zlenko L., Zhuikov A. Assessment of Central Siberia Forest Ecosystems Sustainability to Forest Fires: Academic Research Outcomes // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. № 214. PP. 1008–1018. doi: [10.1016/j.sbspro.2015.11.694](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.694)
7. Junguo Liu, Giri Kattel, Hans Peter H. Arp, Hong Yang. Towards threshold-based management of freshwater ecosystems in the context of climate change // Ecological Modelling. 2015. № 318. PP. 265–274. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010)
8. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. Тольятти : Кассандра, 2011. 255 с.
9. Дрозденко Т.В., Курка А.А. Оценка экологического состояния водоема по показателям фитопланктона (на примере озера Кучане, Псковская область) // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6, № 1 (18). С. 22–26.

10. Экологический мониторинг дельты реки Великой / под ред. О.А. Лебедевой. Псков : ПГПИ, 2003. Ч. I. 156 с.
11. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М. : Наука, 1975. 240 с.
12. Масюк Н.П., Радченко М.И. Методы сбора и изучения водорослей // Водоросли: справочник / отв. ред. С.П. Вассер. Киев : Наукова думка, 1989. С. 170–188.
13. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М. : Университет и школа, 2003. 157 с.
14. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. : Наука, 1953. Вып. 2. 650 с.
15. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. *Chlorophyta: Volvocineae* // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. ; Л. : Наука, 1959. Вып. 8. 223 с.
16. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. ; Л. : Наука, 1962. Вып. 5. 272 с.
17. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. и др. Дiatомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. : Наука, 1951. Вып. 4. 620 с.
18. Матвиенко А.М. Золотистые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. : Сов. наука, 1954. Вып. 3. 188 с.
19. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / АН УССР. Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного ; отв. ред. Г.М. Паламарь-Мордвинцева. Киев : Наукова думка, 1990. 208 с.
20. Komarek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. Teil 1: *Chroococcales* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena ; Stuttgart ; Lübeck ; Ulm, 1998. Bd. 19/1. 548 p.
21. Komarek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. Teil 2: *Oscillatoriales* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München, 2005. Bd. 19/2. 759 p.
22. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Teil 1. *Naviculaceae* // Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart ; New York : Gustav Fischer Verlag, 1986. Bd. 2/1. 876 p.
23. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Teil 3. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae* // Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart ; Jena : Gustav Fischer Verlag, 1991. Bd 2/3. 576 p.
24. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л. : Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1980. 176 с.
25. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учебник. 3-е изд. М. : Бином, 2007. 512 с.
26. Баринаова С.С., Медведева А.Л., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив : PiliesStudio, 2006. 498 с.
27. Судницына Д.Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков : ЛОГОС Плюс, 2012. 224 с.
28. Preston F.W. The commonness and rarity of species // Ecology. 1948. Vol. 29, № 3. PP. 254–283.
29. Колченко М.В., Дрозденко Т.В., Михалап С.Г. Особенности фитоперифитона тростника дельты реки Великой // Вода: химия и экология. 2016. № 5. С. 19–26.
30. Ястремский В.В. Структура и продуктивность фитопланктона Псковско-Чудского озера. СПб. : ГосНИОРХ, 2016. 296 с.
31. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука, 1990. 184 с.

Поступила в редакцию 10.05.2017 г.; повторно 08.09.2017 г.;
принята 17.01.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Авторский коллектив:

Дрозденко Татьяна Викторовна – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и экологии растений факультета естественных наук медицинского и психологического образования Псковского государственного университета (Россия, 180000, г. Псков, ул. Советская, 21).

E-mail: tboichuk@mail.ru

Михалап Сергей Геннадьевич – ст. преподаватель кафедры ботаники и экологии растений факультета естественных наук медицинского и психологического образования Псковского государственного университета (Россия, 180000, г. Псков, ул. Советская, 21).

E-mail: sgmikhailap@gmail.com

For citation: Drozdenko TV, Mikhailap SG. Structural and taxonomic diversity and ecological features of phytoplankton in the Velikaya River delta (Pskov Oblast). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:118-134. doi: 10.17223/19988591/41/7 In Russian, English Summary

Tatiana V. Drozdenko, Sergei G. Mikhailap

Pskov State University, Pskov, Russian Federation

Structural and taxonomic diversity and ecological features of phytoplankton in the Velikaya River delta (Pskov Oblast)

The basis of the existence of aquatic ecosystems is microalgae communities, which produce most part of biological products, play an important role in the sustainability of ecosystems and provide many types of different ecosystem services. The short life cycle and rapid metabolism of microalgae make them ideal targets for monitoring research. The structure and dynamics of producers determines the formation of the entire trophodynamic structure of the aquatic ecosystem and provides the necessary indicators for assessing the aquacultural potential of any water body. The aim of this research was to study the structural and taxonomic diversity of phytoplankton of the Velikaya River delta.

The Velikaya River delta (57°86'96"N, 28°11'54"E) presents a unique natural complex where connection and transformation of the river water masses and the water-receiving basin of Lake Peipus take place. We collected samples for phytoplankton study and basic physical and chemical measurements in summer 2016 at five sampling stations representing various ecological areas of the Velikaya River delta (See Fig. 1). The hydrobiological material (five samples) was collected by 0.5 liter plastic samplers from a depth of 0.3-0.5 m. Phytoplankton samples were fixed with a 40% formalin solution until a weak odor and were concentrated by the sediment method. We identified the species of all organisms, as far as possible, using a "Carl Zeiss Axio Lab. A1" microscope with the help of Russian and foreign determinants. The laboratory treatment was performed with a 0.05 cm³ Najotta camera using conventional methods. The biodiversity was studied at alpha and beta levels. To study the parameters of alpha-diversity of communities, we calculated the Shannon's diversity index, the Simpson's dominance index, the Margalef's index and the Pielou's evenness index. Analysis of algae taxonomic composition similarity at different sampling sites (beta-diversity) was conducted using the Sørensen-Chekanovsky Index. For complex presentation of species richness parameters and algae community evenness, we constructed dominance-diversity curves. To compare the microalgae communities of the Velikaya river delta according to species structure, we used cluster analysis. We used the Ward's method as a method of linkage. To identify ecological groups and specify ecological and geographical characteristics of algae, we used determinants and data from a number

of monographs. The index of saprobity was calculated according to Pantle-Buck in the modification of Sladechek.

We identified one hundred sixty five species taxa of microalgae belonging to 8 phylums: *Bacillariophyta* (37%), *Chlorophyta* (33.9%), *Cyanophyta/Cyanoprokaryota* (9.7%), *Chrysophyta* (6.1%), *Euglenophyta* (6.1%), *Cryptophyta* (3%), *Dinophyta* (3%), *Xanthophyta* (1.2%) (See Tables 1 and 2). The Shannon index values indicate the average complexity of microalgae community structure. The Margalef index values describe the Velikaya River delta as an ecosystem of high species richness (See Table 3). Compared to the previous studies, a significant increase in the level of information diversity is observed, indicating an increase in the number of possible substance and energy flows in the ecosystem. The forms of dominance-diversity curves indicate that the structure of microalgae communities corresponds to the concept of Hutchinson's multidimensional niche space (See Fig. 3). Identification of differences in the structure of species communities also points out the existence of ecological differentiation in microalgae complexes of the delta, which is due to the habitat heterogeneity. Ecological and geographical analysis proves that the absolute dominance of cosmopolitan freshwater forms is typical of the algoflora of the Velikaya River delta. In relation to the pH-reaction, the inhabitants of neutral and slightly alkaline water dominate (See Fig. 4). The Pantle-Buck saprobity index is used for water quality assessment, which shows beta-mesosaprobic water quality in the ecosystem. Thus, the water of the Velikaya River delta could be referred to the category of moderately polluted water (class III of water quality) (See Fig. 5; Table 4).

The paper contains 5 Figures, 4 Tables and 31 References.

Keywords: ecological monitoring; phytoplankton; taxonomic composition; saprobity; Lake Peipus basin.

Funding: This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 17-12-60005 a (r)).

References

1. *Geografiya i monitoring bioraznoobraziya* [Geography and biodiversity monitoring]. Lebedeva NV, Krivolutskiy DA, Puzachenko YG, D'yakonov KN, Aleshchenko GM, Smurov AV, Maksimov VN, Tikunov VS, Ogureeva GN, Kotova TV, Kasimova NS, Romanovoy AA, editors. Moscow: Nauchnyy & uchebno-metodicheskiy tsentr Publ.; 2002. 432 p. In Russian
2. Begon M, Harper JL, Townsend K. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Vol. 1. Translated from English Mikheeva VN, Snetkova MA; Gilarov AM, editor. Moscow: Mir Publ.; 1989. 477 p. In Russian
3. Odum EP. Fundamentals of Ecology. Vol. 1. Translated from English Frolova YM; Sokolov VE, editor. Moscow: Mir Publ.; 1986. 328 p. In Russian
4. Kevin J. Gaston. Global patterns in biodiversity. *Nature*. 2000;405:220-227. doi: [10.1038/35012228](https://doi.org/10.1038/35012228)
5. Kensa VM. Biodiversity and Energy. *Jr. of Industrial Pollution Control*. 2012; 28(1):95-98. [Electronic resource]. Available at: <http://www.icontrolpollution.com/articles/> (assessed: 20.04.2017).
6. Koshurnikova N, Verkhovets S, Antamoshkina O, Trofimova N, Zlenko L, Zhuikov A. Assessment of Central Siberia forest ecosystems sustainability to forest fires: Academic research outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015;214:1008-1018. doi: [10.1016/j.sbspro.2015.11.694](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.694)
7. Liu J, Kattel G, Arp HPH, Yang H. Towards threshold-based management of freshwater ecosystems in the context of climate change. *Ecological Modelling*. 2015; 318:265-274. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010)

8. Shitikov VK, Zinchenko TD, Rozenberg GS. Makroekologiya rechnykh soobshchestv: kontseptsii, metody, modeli [Macroecology of river communities: Concepts, methods, models]. Togliatti: Cassandra Publ.; 2011. 255 p. In Russian
9. Drozdenko TV, Kurka AA. Assessment of the ecological state of the pond on the phytoplankton indicators (for example, Kuchane Lake, Pskov region). *Samara Journal of Science*. 2017;6(1-18): 22-26. In Russian, English Summary
10. *Ekologicheskoy monitoring del'ty reki Velikoy* [Environmental monitoring of the Velikaya river delta]. Vol. I. Lebedeva OA, editor. Pskov: Pskov State University Publ.; 2003. 156 p. In Russian
11. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methods of studying biogeocenosis of inland water bodies]. Mordukhay-Boltovskiy FD, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 240 p. In Russian
12. Masyuk NP, Radchenko MI. Metody sbora i izucheniya vodorosley [Methods of collecting and studying algae]. Vasser SP, editor. Kiev: Nauk. Dumka Publ.; 1989. pp. 170-188. In Ukrainian
13. Sadchikov AP. Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona: metodicheskoe rukovodstvo [Methods of studying freshwater phytoplankton: Practical guide]. Moscow: Universitet & shkola Publ.; 2003. 157 p. In Russian
14. Gollerbakh MM, Kosinskaya EK, Polyanskiy VI. Sinezelenye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Cyanobacteria. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 2. Moscow: Nauka Publ.; 1953. 650 p. In Russian
15. Dedusenko-Shchegoleva NT, Matvienko AM, Shkorbatov LA. Zelenye vodorosli. Klass Vol'vokovyey. Chlorophyta: Volvocineae. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Green algae. Class Volvocaceae. Chlorophyta: Volvocineae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 8. Moscow; Leningrad: Nauka Publ.; 1959. 223 p. In Russian
16. Dedusenko-Shchegoleva NT, Gollerbakh MM. Zheltozelenye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Yellow-green algae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 8. Moscow; Leningrad: Nauka Publ.; 1962. 272 p. In Russian
17. Zabelina MM, Kiselev IA, Proshkina-Lavrenko AI, Sheshukova VS. Diatomovye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Yellow-green algae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 4. Moscow: Nauka Publ.; 1951. 620 p. In Russian
18. Matvienko AM. Zolotistyye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Golden algae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 3. Moscow: Sov. Nauka Publ.; 1954. 188 p. In Russian
19. Tsarenko PM. Kratkiy opredelitel' khlorokokkovykh vodorosley Ukrainskoy SSR [Brief determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR]. Akademiya nauk USSR. In-t botaniki im. MG Kholodnogo [The Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. MG Kholodny Institute of Botany]. Palamar-Mordvintseva GM, editor. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1990. 208 p. In Ukrainian
20. Komarek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1. Chroococcales Süßwasserflora von Mitteleuropa [Cyanoprokaryota. Part 1. Chroococcales. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 19/1. Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm Publ.; 1998. 548 p. In German
21. Komarek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa [Cyanoprokaryota. Part 1. Oscillatoriales. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 19/2. München Publ.; 2005. 759 p. In German
22. Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa [Bacillariophyceae. Part 1. Naviculaceae. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 2/1. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, New York Publ.; 1986. 876 p. In German
23. Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae Die Süßwasserflora von Mitteleuropa [Bacillariophyceae. Part 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Fresh water flora of Central Europe]. Bd 2/3. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, Jena Publ.; 1991. 576 p. In German

24. Shmidt VM. Statisticheskie metody v sravnitel'noy floristike [Statistical methods in comparative floristics]. Leningrad: Leningradskiy universitet Publ.; 1980. 176 p. In Russian
25. Khalafyan AA. STATISTICA 6. Statisticheskiy analiz dannykh: uchebnik [STATISTICA 6. Statistical analysis of data: Textbook]. 3th ed. Moscow: Binom Publ.; 2007. 512 p. In Russian
26. Barinova SS, Medvedeva AL, Anisimova OV. Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel-Aviv: PiliesStudio Publ.; 2006. 498 p. In Russian
27. Sudnitsyna DN. Algoflora vodoemov Pskovskoy oblasti [Algoflora of water bodies of Pskov oblast']. Pskov: "LOGOS Plyus" Publ.; 2012. 224 p. In Russian
28. Preston FW. The commonness, and rarity, of species. *Ecology*. 1948;29(3):254-283. doi: [10.2307/1930989](https://doi.org/10.2307/1930989)
29. Kolchenko MV, Drozdenko TV, Mikhalap SG. Osobennosti fitoperifitona trostnika del'ty reki Velikoy [Reed phytoperifiton features specific to the Velikaya river delta]. *Water: chemistry and ecology*. 2016;5:19-26. In Russian, English Summary
30. Yastremskiy VV. Struktura i produktivnost' fitoplanktona Pskovsko-Chudskogo ozera [Structure and production of phytoplankton of Lake Peipus]. St. Petersburg: "GosNIORKh" Publ.; 2016. 296 p. In Russian
31. Trifonova IS. Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad: Nauka Publ.; 1990. 184 p. In Russian

*Received 10 May 2017; Revised 08 September 2017;
Accepted 17 January 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Drozdenko Tatyana V, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Botany and Ecology of Plants, Pskov State University, 21 Sovetskaya Str., Pskov 180000, Russian Federation.

E-mail: tboichuk@mail.ru

Mikhalap Sergey G, Senior Lecturer, Department of Botany and Ecology of Plants, Pskov State University, 21 Sovetskaya Str., Pskov 180000, Russian Federation.

E-mail: sgmikhalap@gmail.com

УДК 631.415, 631.445.124
doi: 10.17223/19988591/41/8

Т.Т. Ефремова, С.П. Ефремов, Н.В. Мелентьева, А.Ф. Аврова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Высотная дифференциация кислотно-основных свойств долинных торфяных почв Кузнецкого Алатау

Впервые методами многомерного статистического анализа выполнена объективная группировка долинных торфяных почв по кислотно-основным показателям, которая отражает высотно-поясные закономерности компонентов биогеосистем восточного макросклона Кузнецкого Алатау. Наибольший вклад в дискриминацию вносит насыщенность почвенного поглощающего комплекса щелочноземельными основаниями и потенциальная кислотность (pH солевой). Выделено три геохимические ассоциации торфяных почв: кислые ненасыщенные кальцием и магнием в высокогорном поясе 1 500–1 100 м над ур. м., слабокислые слабонасыщенные основаниями в среднегорье 1 100–800 м и нейтральные умереннонасыщенные ($Ca+Mg$) в низкогорье 800–500 м над ур. м. Почвы различных гипсометрических ступеней рельефа в процессе торфогенеза воспроизводят общие признаки органогенного почвообразования – ацидификацию поверхностных горизонтов. Предложена высокоточная регрессионная модель прогноза значений обменной кислотности ($pH_{КС}$) по величине активной (pH_{H_2O}). Состояние древостоев болотных ельников может служить одним из объективных критериев изменения регионального климата в сторону сухости.

Ключевые слова: горные торфяные почвы; $pH_{КС}$; pH_{H_2O} ; гидролитическая кислотность; насыщенность основаниями; геохимические ассоциации; многомерный статистический анализ.

Введение

Обоснованные прогнозы реакции болот на угрозы глобального изменения климата и техногенного загрязнения природной среды нуждаются в оценке специфики современного торфогенеза в масштабах крупных регионов. Однако недостаточная проработанность этой проблемы сохраняется до настоящего времени. Существуют, в частности, сильно различающиеся экспертные оценки степени заболоченности горных территорий юга Сибири. С одной стороны, говорится о слабом развитии процессов болотообразования [1, 2], с другой – отмечается широкое распространение болот в Алтае-Саянской горной стране [3]. При этом достаточно полно приводятся их флористический состав и значительно в меньшей мере характеризуются свойства горных торфяных почв. Под названием болотные они включены в систематический список почв Западного Саяна и Кузнецкого Алатау [4, 5],

ограничиваясь в то же время некоторыми физико-химическими показателями верхних торфяных горизонтов 0–5(10) см. В последнее время выполнена оценка промышленных выбросов Кузбасса на экологическое состояние болотных экосистем западного макросклона Кузнецкого Алатау [6]. Более подробные сведения о свойствах торфяных и гидроморфных почв, особенностях их районирования и рекомендации по хозяйственному освоению относятся к предгорной области Западного Саяна [7–10].

Важнейшей характеристикой физико-географического облика гор является, как известно, структура вертикальных почвенных поясов, множественность и внутренняя неоднородность которых в Алтае-Саянской горной стране приведена в работах [4, 5]. Вместе с тем в этих построениях торфяные почвы практически не представлены. Болотные экосистемы различных высотных поясов питаются, как известно, преимущественно подземными водами, которые выходят на поверхность благодаря резкой расчлененности рельефа, неодинаковой степени трещиноватости горных пород и наличию тектонических разломов. Разгрузка вод происходит обычно по горным склонам и речным долинам, которые, как правило, заболочены.

Построение топографических рядов долинных торфяных почв Кузнецкого Алатау является целью настоящей работы. Понятно, что в условиях гидроморфного почвообразования режим увлажнения не может служить фактором дифференциации торфяных почв по ступеням рельефа. Поэтому в качестве критерия их вертикальной структурной организации использовали кислотно-основные свойства, которые играют ключевую роль в организации биогеоценологических процессов в болотных экосистемах, положены в основу классификации торфяных почв [11, 12] и принадлежности почв к геохимическим ассоциациям [13].

Материалы и методики исследования

Объектами исследования послужили торфяные почвы бассейнов рек Белый Июс и Черный Июс, приуроченные к различным ступеням высот восточного макросклона Кузнецкого Алатау. Климат резко континентальный с холодной зимой и жарким летом. Увлажнение избыточное: коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову 1,75–2,4 [14].

В высокогорной области образцы торфяных почв отобраны на двух объектах. Торфяной массив Арапат площадью 1,8 га залегает на абсолютной высоте 1 460 м в естественном чашеобразном углублении (кресловине) горы Столовая с многолетним снежником (рис. 1). Географические координаты отбора почвенных образцов 54°41'04"N, 88°39'58"E. Торфяной массив Пихтерек (0,83 тыс. га) с горизонтами сезонной мерзлоты и перелеток расположен в заболоченной долине р. Пихтерек на абсолютной высоте 1 087 м (54°05'17"N, 89°05'49"E). В напочвенном покрове высокогорной области господствуют светолюбивые виды гипновых, сфагновых и зеленых мхов: проективное

покрытие 85–100%. Доминируют: *Sphagnum*, *Tomenthypnum*, *Aulacomnium*, *Helodium*, *Calliergon*, *Polytrichum*, *Dicranum*, *Tuidium*, *Funaria*, *Bryum*.

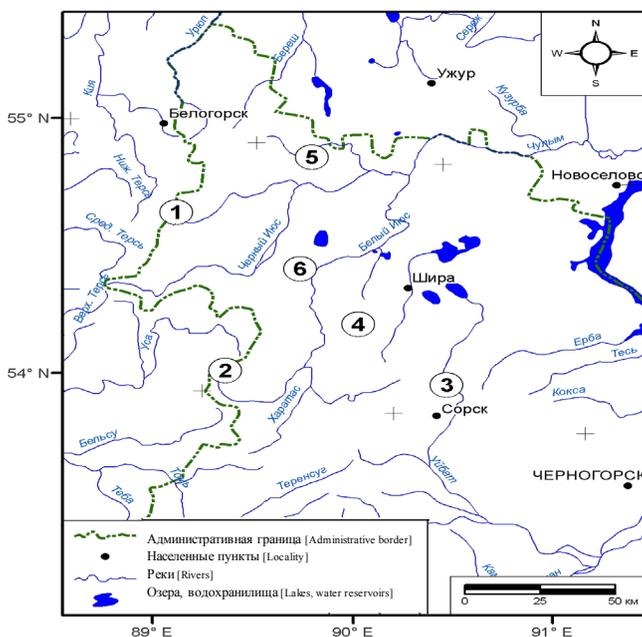


Рис. 1. Карта-схема расположения изучаемых торфяных массивов Кузнецкого Алатау:

1 – Арарат; 2 – Пихтерек; 3 – Бюря; 4 – Тунгужуль; 5 – Печище; 6 – Тарча

[**Fig. 1.** The schematic location map of the studied peatlands in the Kuznetsk Alatau:

1 - Ararat (54°41'04"N, 88°39'58"E); 2 - Pihterek (54°05'17"N, 89°05'49"E);

3 - Byurya (54°07'41"N, 90°15'31"E); 4 - Tunguzhul' (54°16'32"N, 89°39'02"E);

5 - Pechysche (54°57'54"N, 89°18'08"E); 6 - Tarcha (54°31'23"N, 89°21'13"E)]

В пределах плоскогорья образцы почв отобраны в заболоченных межгорных долинах четырех рек, названия которых соответствуют наименованию объектов исследования. Торфяной массив Бюря (0,65 тыс. га) залегает на высоте 832 м Батеневского кряжа (54°07'41"N, 90°15'31"E). Массив Тунгужуль (1,77 тыс. га) расположен на абсолютной высоте 622 м (54°16'32"N, 89°39'02"E). Торфяной массив Печище (0,62 тыс. га) дислоцируется на высоте 573 м Солгонского кряжа (54°57'54"N, 89°18'08"E). Торфяной массив Тарча (1,8 тыс. га) сформирован вдоль подножья хребта Арга на высоте 547 м (54°31'23"N, 89°21'13"E).

Торфяные массивы заняты хвойными и хвойно-лиственными древостоями с доминированием ели сибирской. Преобладают разновозрастные ельники гипново-зеленомошной группы типов леса. В ассоциациях напочвенного покрова господствующий ярус мхов занимает 90–95%. Доминируют: *Tomenthypnum*, *Aulacomnium*, *Helodium*, *Drepanocladus*, *Calliergon*,

Pleurozium, Polytrichum, Hylocomium, Dicranum Rhytiadelphus, Tuidium, Brium, Ptilium. Исследованиями охвачена сфера современного почвообразования (корненасыщенная зона) – 0–30(40) см, которая ограничивалась в том числе наличием в профиле торфяных залежей мерзлотных горизонтов. Для отбора образцов почв вырезались торфяные монолиты размером 25×25×30(40) см и подразделялись на генетические горизонты. На каждом объекте отобрано по 5–6 монолитов сообразно доминирующим растительным ассоциациям. Торфяные почвы всех гипсометрических отметок слагаются торфами моховой группы. Верхние слабо разложившиеся горизонты 0–5(7) см характеризуются нормальной зольностью (7–11%). Нижние анализируемые слои 7–30(40) см отличаются повышенной зольностью (17–49%) и более высокой разложенностью торфа (28–34%).

Кислотно-основные свойства почв определялись по руководству [15]: рН водной (водная вытяжка), рН солевой (вытяжка 1М КCl), общая потенциальная – гидролитическая кислотность (вытяжка 1М CH_3COONa), найденную величину кислотности умножали на эмпирический коэффициент 1,75. Сумму обменных катионов (по Каппену–Гильковицу) находили в вытяжке 0,1М HCl, в которой комплексометрическим титрованием определяли $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$. По разности между суммой и количеством $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ находили содержание прочих (не идентифицированных) катионов. Степень насыщенности почв основаниями, выраженная в %, рассчитывалась как доля обменных оснований к сумме (обменные основания + гидролитическая кислотность) и оценивалась согласно [16]. Реакцию среды характеризовали по [15]. Степень разложения устанавливали объемно-весовым методом [17]. Многомерный статистический анализ выполнен в программе EXCEL и StatSoft STATISTICA 6.0 [18].

Результаты исследования и обсуждение

Заболоченные речные долины восточного склона Кузнецкого Алатау характеризуются средней и значительной вариацией признаков, которые используются для оценки кислотно-основных свойств почв: рН водной вытяжки 4,7–7,7, рН солевой вытяжки 3,8–6,9, гидролитическая кислотность 3,5–81,1 ммоль(+)/100 г, сумма поглощенных оснований 110–387, обменные щелочноземельные катионы 43,6–357, емкость катионного обмена 170–392 ммоль(+)/100 г. Все показатели тесно связаны между собой: индекс детерминации (R^2) составляет 0,71–0,94. Чтобы сопоставить кислотно-основные свойства торфяных почв, сформированных на разных абсолютных высотах, обратились к концепции кислотного следа почвообразования посредством создания V-диаграмм [19, 20]. Для построения диаграмм применили понятие функциональной зависимости между варьирующими признаками. В качестве аргумента использовали показатели степени насыщенности щелочноземельными основаниями, в качестве функции – величины рН водной и рН солевой.

Кислотный след почвообразования в высокогорной торфяной почве массива Арарат отличается монотонностью, судя по величине кислой реакции среды (рН водной), сильной ненасыщенности почвенного поглощающего комплекса (ППК) щелочноземельными основаниями, практически одинаковым содержанием ионов водорода H^+ и прочих катионов по всей стратиграфической колонке (рис. 2, А; 3, А).

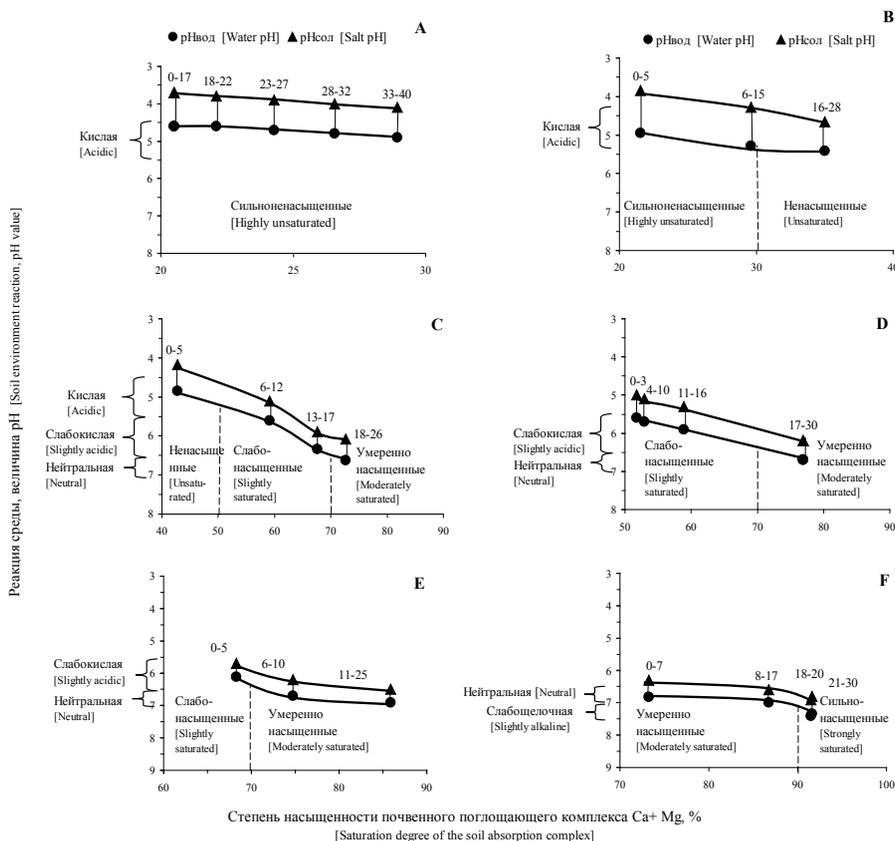


Рис. 2. Распределение в поле кислотности V-диаграммы генетических горизонтов почв горных торфяников: А – Арарат; В – Пихтерек; С – Бюря; D – Тарча; E – Печище; F – Тунгузюль

[Fig. 2. V-diagrams: distribution of soil genetic horizons of mountain peatlands in acidity fields: A - Ararat; B - Pihterek; C - Byurya; D - Tarcha; E - Pechysche; F - Tunguzhul']

Торфяник Пихтерек (1 087 м над ур. м.) характеризуется сходным кислотным следом почвообразования: профиль находится в интервале кислых показателей рН и не насыщен основаниями (рис. 2, В; 3, В). Отличается от массива Арарат явным проявлением ацидофикации поверхностного горизонта: относительно нижнего анализируемого (16–28 см) наблюдается примерно вдвое повышение ионов H^+ и снижение щелочноземельных оснований в составе ППК.

Горизонтограмма массива Бюря (832 м над ур. м.) характеризует дифференцированный кислотный след почвообразования в ходе торфогенеза (рис. 2, С; 3, С). Нижний анализируемый горизонт торфяного массива умереннонасыщенный (Ca+Mg) с нейтральной реакцией среды, по мере роста вверх последовательно трансформируется в слабонасыщенный и слабокислый субстрат, затем в ненасыщенный кислый поверхностный слой (0–5 см). С позиции каскадно-геохимических оценок торфяные почвы массива Бюря можно определить как систему переходного типа, играющую буферную (барьерно-трансляционную) роль в формировании кислотно-основных свойств сопряженных торфяников. Вышележащие торфяные почвы – кислые ненасыщенные щелочноземельными основаниями по всему профилю, расположенные по склону ниже – преимущественно нейтральные, насыщенные в той или иной мере обменными катионами.

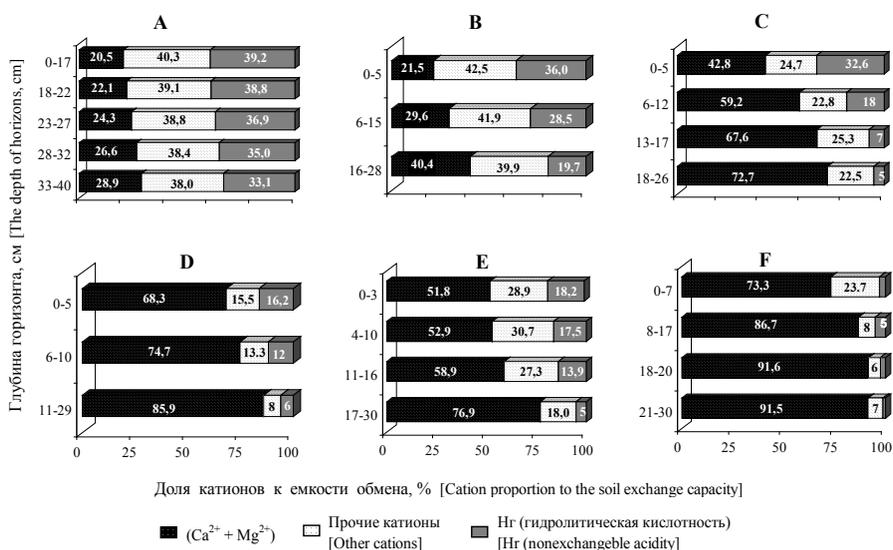


Рис. 3. Доля катионов к емкости обмена горных торфяных почв различных высотных отметок: А – Арарат; В – Пихтерек; С – Бюря; D – Тарча; E – Печище; F – Тунгузюль [Fig. 3. The composition of soil absorption complex of mountain peatlands: A - Ararat; B - Pihterek; C - Vyurya; D - Tarcha; E - Pechysche; F - Tunguzhul']

Так, кислотный след почвообразования массива Тунгузюль (622 м над ур. м.) в нижней части профиля характеризуется слабощелочной реакцией среды и сильнонасыщенными основаниями торфами, преобразуясь в поверхностных слоях до нейтральных значений pH и умеренного насыщения залежи Ca²⁺+Mg²⁺ (рис. 2, F; 3, F). Доля катионов неопределенной природы незначительна и только в поверхностном горизонте (0–7 см) достигает 24%. V-диаграмма массива Печище (579 м над ур. м.) показывает, что уме-

реннонасыщенные (Ca+Mg) с нейтральной реакцией нижние слои залежи сменяются в ходе торфогенеза горизонтами, обедненными основаниями со слабокислой средой (рис. 2, E; 3, E). Близкие характеристики по кислотности среды и степени насыщенности основаниями имеет V-диаграмма почв торфяного массива Тарча (547 м над у. м.), однако отличается несколько возросшей долей не идентифицированных катионов (рис. 2, D; 3, D).

Таким образом, почвы различных гипсометрических ступеней рельефа в процессе торфонакопления воспроизводят в той или иной мере общие признаки органогенного почвообразования – ацидификацию поверхностных горизонтов главным образом за счет поступления органических кислот в составе свежих растительных остатков, а также выноса оснований латеральными миграционными потоками.

Для принятия решения о том, какие показатели (признаки) кислотно-основного состояния лучше всего различают (дискриминируют) обсуждаемые торфяные почвы, воспользовались процедурой дискриминантного анализа. Построенная по кислотно-основным свойствам модель, судя по статистике Уилкса и ее оценкам, показывает: статистически значимыми дискриминаторами почв торфяных массивов являются содержание обменных щелочно-земельных оснований и pH солевой вытяжки, при этом вклад последнего показателя более мощный (табл. 1).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Оценка вклада кислотно-основных показателей в дискриминацию торфяных почв и формирование кластеров
[Evaluation of the acid-base parameters' contribution into discrimination of peat soils and cluster formation]

Переменные модели [Parameters of models]	Лямбда Уилкса [Wilks' Lambda]	Частная лямбда [Partial Lambda]	F-критерий [F-statistics]	p-уровень [p-level]
Почвы торфяных массивов [Peatland soils]				
Оценка качества дискриминации: лямбда Уилкса – 0,224, F-критерий – 13,37, p-уровень значимости <0,001 [Evaluation of discrimination quality: Wilks' Lambda - 0.224, F-statistics - 13.37, p-level - <0.001]				
Ca + Mg, % к емкости обмена [Ca+Mg, % of exchange capacity]	0,272	0,822	2,60	0,034
pH солевой [Salt pH]	0,423	0,528	10,71	<0,001
Совокупности (кластеры) торфяных почв [Peat soil clusters]				
Оценка качества дискриминации: лямбда Уилкса – 0,163, F-критерий – 46,51, p-уровень значимости <0,001 [Evaluation of discrimination quality: Wilks' Lambda - 0.163, F-statistics - 46.51, p-level - <0.001]				
Ca + Mg, % к емкости обмена [Ca+Mg, % of exchange capacity]	0,32	0,52	29,5	<0,001
pH солевой [Salt pH]	0,19	0,84	6,1	0,004

Итоговое предсказание корректно классифицированных объектов составляет 55%. Лучше других дискриминируется торфяной массив Пихтерек, хуже всех – Бюры (табл. 2).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Оценка межгрупповой дисперсии торфяных массивов
методом дискриминантного анализа**
[Evaluation of intergroup variance of peatlands by the method of discriminant analysis]

Торфяные массивы, нумерация [Peatlands, number]	Квадраты расстояний Махаланобиса, p -уровни значимости различий [The squared Mahalanobis distance, p -levels of significance]						Матрица классификации [Classification matrix]						
	1	2	3	4	5	6	% попадания [Percent correct]	1	2	3	4	5	6
								Число попаданий [Number of correct cases]					
1. Арарат [Ararat]	—	1,3	8,5	24,1	17,1	17,6	57	4	3	0	0	0	0
2. Пихтерек [Pihterek]	0,07	—	3,9	15,6	9,4	10,6	92	1	11	0	0	0	0
3. Бюря [Vyurya]	<0,01	<0,01	—	4	1,9	1,7	38	0	4	6	6	0	0
4. Тунгужуль [Tunguzhul]	<0,01	<0,01	<0,01	—	1,5	0,5	67	0	0	0	8	4	0
5. Печище [Pechysche]	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	—	0,9	67	0	0	4	0	8	0
6. Тарча [Tarcha]	<0,01	<0,01	0,02	0,30	0,13	—	0	0	0	3	5	0	0
							Итоги классификации [Classification result]						
							55	5	18	13	19	12	0

Примечание. Квадраты расстояний Махаланобиса – над чертой, p -уровни значимости различий – под чертой.

[Note. The squared Mahalanobis distance is above the line, p -levels of significance are below the line].

Используя квадраты расстояния Махаланобиса (см. табл. 2) как меру сходства или различия почв, разместили торфяные массивы в двумерном пространстве кислотно-основных показателей с помощью метода многомерного шкалирования. Изучаемые массивы четко образовали на плоскости три случайных кластера (рис. 4).

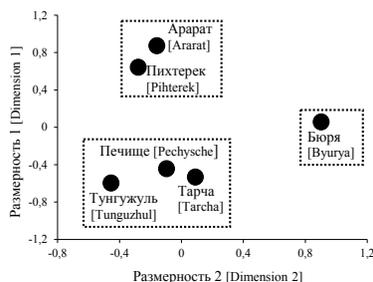


Рис. 4. Расположение на плоскости торфяных массивов, сгруппированных по кислотно-основным показателям почв
[Fig. 4. The location on the plane of peatlands, grouped according to acid-base soil properties]

Полученные группировки статистически значимо различаются между собой (табл. 3).

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

**Оценка межгрупповой дисперсии кластеров
торфяных массивов методом дискриминантного анализа**
[Evaluation of intergroup variance of peatland clusters by the method of discriminant analysis]

Индекс кластера [Cluster index]	Структура кластера [Cluster structure]	Квадраты расстояний Махаланобиса, p -уровни значимости [The squared Mahalanobis distance, p -levels]			Матрица классификации [Classification matrix]			
		1–2	3	4–6	% попадания [Percent correct]	1–2	3	4–6
						Число попаданий [Number of correct cases]		
1–2	Арарат, Пихтерек [Ararat, Pihterek]	—	13,1	26,9	100	19	0	0
3	Бюря [Бууруа]	<0,001	—	2,6	75	0	12	4
4–6	Тунгужуль, Печище, Тарча [Tunguzhul, Pechysche, Tarcha]	<0,001	<0,001	—	90	0	3	28
					Итоги классификации [Classification result]			
					89	19	15	32

Примечание. Квадраты расстояний Махаланобиса – над чертой, p -уровни значимости различий – под чертой.

[Note. The squared Mahalanobis distance is above the line, p -levels of significance are below the line].

Итог классификации возрастает до 89% по сравнению с 55% для почв отдельных торфяных массивов. Доминирующий вклад в формирование кластеров вносит показатель насыщенности щелочноземельными основаниями ППК и величина рН солевой (табл. 1).

Комбинация торфяных почв по кислотно-основным свойствам, характеризующая их хорологическую организацию, согласуется с высотно-поясной структурой растительного покрова автоморфных местообитаний восточного макросклона Кузнецкого Алатау [21] и с гидрогеохимической зональностью подземных вод горных территорий [22, 23]. Так, торфяные почвы кластера Арарат–Пихтерек (>1 100 м абсолютных отметок) формируются в границах альпийско-тундровых и субальпийских комплексов и питаются ультрапресными кислыми гидрокарбонатными водами, состав катионов которых отличается большой пестротой. Торфяной массив Бюря приурочен к горно-таежному поясу (1 100–800 м) пресных гидрокарбонатно-кальциевых слабокислых вод. Кластер Тунгужуль–Печище–Тарча находится в подтаежно-лесостепном поясе (800–500 м), торфяные массивы которого формируются жесткими слабощелочными гидрокарбонатно-кальциево-магниевыми водами. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования в качестве базовых критериев классификации болот их геоморфологические и гидрологические особенности [24].

Организованные группы торфяных массивов, согласно средней величине активной кислотности, характеризуются в высокогорном поясе кислыми ненасыщенными щелочноземельными основаниями почвами, в среднегорье – слабокислыми слабонасыщенными, в низкогорье – нейтральными умереннонасыщенными кальцием и магнием почвами. По величине обменной кислотности (рН солевой) торфяные почвы отличаются соответственно сильнокислой, слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды (табл. 4). Принципиальное различие между горными торфяниками низких, средних высот и высокогорий по кислотно-основным свойствам отмечается также в тропических и субтропических областях [25, 26]. Внутригрупповая пространственная вариация кислотности выражена в основном слабо. Насыщенность основаниями изменяется в большей мере, но не превышает 33%, что позволяет характеризовать каждый кластер как однородную совокупность согласно [27].

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

Статистическая оценка кислотно-основных показателей кластеров торфяных почв различных высот
[Statistical evaluation of acid-base parameters of peat soil clusters of different altitude points]

Кислотно-основные показатели [Acid-base parameters]	Кластеры почв торфяных массивов [Soil clusters of peatlands]					
	Арагат, Пихтерек [Ararat, Pihterek] 1100–1500 м		Бюря [Byurya] 830 м		Тунгужуль, Печише, Тарча [Tunguzhul, Pechysche, Tarcha] 550–620 м	
	$\frac{M \pm m}{lim}$	$C_v, \%$	$\frac{M \pm m}{lim}$	$C_v, \%$	$\frac{M \pm m}{lim}$	$C_v, \%$
рН водный [Water pH]	$\frac{5,1 \pm 0,05}{4,6-5,6}$	6	$\frac{5,9 \pm 0,13}{4,9-6,6}$	12	$\frac{6,6 \pm 0,10}{5,6-7,4}$	9
рН солевой [Salt pH]	$\frac{4,2 \pm 0,07}{3,7-4,9}$	9	$\frac{5,3 \pm 0,14}{4,2-6,1}$	14	$\frac{6,1 \pm 0,09}{5,0-6,8}$	9
Насыщенность Ca+Mg [Saturation with Ca+Mg], %	$\frac{28,9 \pm 1,41}{19,7-42,4}$	27	$\frac{60,6 \pm 2,34}{42,8-72,7}$	22	$\frac{78,5 \pm 2,01}{51,8-93,8}$	15
Оценка современных торфяных почв 0–30(40) см по средним значениям кислотно-основных показателей [Evaluation of modern peat soils, 0-30(40) cm, for mean values of acid-base parameters]						
Насыщенность Ca+Mg [Saturation with Ca+Mg], %	Ненасыщенные [Unsaturated]		Слабонасыщенные [Slightly saturated]		Умереннонасыщенные [Moderately saturated]	
рН водный [Water pH]	Кислые [Acidic]		Слабокислые [Slightly Acidic]		Нейтральные [Neutral]	

Примечание. M – среднее арифметическое, $\pm m$ – ошибка средней арифметической, lim – пределы изменчивости, C_v – коэффициент вариации.

[Note. M - mean, $\pm m$ - standard error of the mean, lim - limits of variation, C_v - coefficient of variation].

Чтобы оценить влияние кислотных и основных компонентов на величину pH солевой, статистически значимого дискриминатора торфяных почв, выполнили пошаговый регрессионный анализ с использованием данных по обменным Ca+Mg, величине гидролитической (общей) кислотности и «прочим обменным катионам». В составе последних могут быть K^+ , Na^+ , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} и другие ионы [28]. В кислых ненасыщенных щелочноземельными основаниями высокогорных торфяных почвах величина обменной кислотности (pH_{KCl}) на 96% аппроксимируется перечисленными показателями (табл. 5). В эту совокупность, судя по частному индексу детерминации, 94,5% вносит гидролитическая кислотность. Вклад обменных оснований не превышает 1% и находится на грани статистической значимости.

Показатель pH солевой вытяжки свидетельствует о наличии в почве только наиболее сильнокислотных обменных компонентов: в минеральных почвах – обменного алюминия, в органогенных горизонтах почв – присутствие обменного водорода [29]. В торфяных почвах это, прежде всего, ионы водорода низкомолекулярных органических и специфических гумусовых кислот. Ранее нами установлено: а) все виды кислотности в растительном субстрате (подстилке) тесно с большой долей вероятности взаимосвязаны, б) в качестве наиболее значимых прогностических показателей общей потенциальной кислотности алгоритм множественного регрессионного анализа чаще всего включал в модель гумусовые кислоты 1-й фракции (ГК-1+ФК-1) и фульвокислоты фракции 3, в) оксид алюминия из комбинации объясняющих признаков обнаруживает с потенциальной кислотностью наименьшую тесноту связи [30]. Роль алюминия (III) в качестве донора протонов слабо выражена и в торфяных горизонтах арктических почв разного генезиса [31].

В слабокислых и слабонасыщенных основаниями среднегорных торфяных почвах также установлена доминирующая роль иона водорода в формировании обменной кислотности. Статистически значимым становится вклад щелочноземельных оснований около 1%, а прочие обменные катионы оказываются вне модели.

В нейтральных умереннонасыщенных почвах низкогогорья обсуждаемые кислотно-основные показатели аппроксимируют величину pH_{KCl} на 85%. Основной вклад (78%) вносят щелочноземельные основания. Лепта гидролитической кислотности и прочих обменных катионов статистически значима и составляет немногим более 3%. Итак, в торфяных почвах восточного склона Кузнецкого Алатау ведущая роль в формировании обменной кислотности (pH_{KCl}) в условиях нейтральной среды принадлежит поглощенным щелочноземельным основаниям, в кислой – ионам водорода преимущественно органических и гумусовых кислот.

Информацию о кислотности почв как специфического отражения процессов почвообразования можно рассматривать через взаимосвязанные показатели pH_{H_2O} и pH_{KCl} . Установлена положительная связь величины pH солевой и pH водной, которая иллюстрируется диаграммой разброса точек вокруг линии регрессии по типу линейной функции (рис. 5, А).

Т а б л и ц а 5 [Table 5]

**Результаты пошагового регрессионного анализа связи рН солевой
и кислотно-основных показателей в кластерах торфяных почв**
[The results of stepwise regression analysis based on the relationship
of salt pH and acid-base parameters in peat soil clusters]

Кислотно-основные показатели, ммоль(+)/100 г [Acid-base parameters]	Индексы детерминации, R^2 [Determination index]		Частный F -крите- рий [Partial F -statistics]	p -уро- вень [p -level]
	множествен- ный [Multiple]	частный [Partial]		
Кластер высокогорных торфяных почв массивов Арарат–Пихтерек (более 1000 н.у.м.) [The cluster of highland peat soils of Ararat-Pihterek peatlands (more than 1000 m a.s.)]				
Качество модели: $R^2 - 0,959$, $F - 209$, p -уровень $<0,001$, среднеквадратичная ошибка – 0,08 [Quality of model: $R^2 - 0.959$, $F - 209$, p -level <0.001 , root-mean square error - 0.08]				
Гидролитическая кислотность [Nonexchangeable acidity]	0,946	0,946	506,21	$<0,001$
Обменные Са + Mg [Exchangeable Ca+Mg]	0,953	0,007	3,99	0,056
Прочие обменные основания [Other cations]	0,959	0,006	4,07	0,054
Кластер среднегорных торфяных почв массива Бюра (832 н.у.м.) [The cluster of upland peat soils of Byura peatlands (832 m a.s.)]				
Качество модели: $R^2 - 0,988$, $F - 1162$, p -уровень $<0,001$, среднеквадратичная ошибка – 0,09 [Quality of model: $R^2 - 0.988$, $F - 1162$, p -level <0.001 , root-mean square error - 0.09]				
Гидролитическая кислотность [Nonexchangeable acidity]	0,979	0,979	1400,43	$<0,001$
Обменные Са + Mg [Exchangeable Ca+Mg]	0,988	0,009	20,33	$<0,001$
Прочие обменные основания [Other cations]	Вне модели [Outside the model]			
Кластер низкогорных торфяных почв массивов Тарча – Печище – Тунгузюль (622–547 н.у.м.) [The cluster of lowland peat soils of Tarcha-Pechysche-Tunguzhul (622-547 m a.s.)]				
Качество модели: $R^2 - 0,851$, $F - 53$, p -уровень $<0,001$, среднеквадратичная ошибка – 0,24 [Quality of model: $R^2 - 0.851$, $F - 53$, p -level <0.001 , root-mean square error - 0.24]				
Обменные Са + Mg [Exchangeable Ca+Mg]	0,785	0,785	109,79	$<0,001$
Гидролитическая кислотность [Nonexchangeable acidity]	0,818	0,033	5,18	0,030
Прочие обменные основания [Other cations]	0,851	0,033	6,25	0,019

Регрессионное уравнение имеет следующий вид:

$$pH_{(KCl)} = 1,18 \times pH_{(H_2O)} - 1,70. \quad (1)$$

Оценка качества регрессионной модели: $R^2 = 0,94$, F -критерий = 1 374 (p -уровень значимости $<0,001$), среднеквадратичная ошибка регрессии = 0,21, p -уровень значимости свободного члена и регрессионного коэффициента $<0,001$. Статистически значимый коэффициент детерминации, величина которого служит индикатором степени подгонки модели, говорит о том, что 94% изменчивости содержания обменной кислотности (рН солевой) объясняется изменчивостью актуальной (рН водной). Чтобы проверить адекватность построенной модели, т.е. установить, соответствует ли модель натурным данным и выполняются ли условия применения метода наименьших квадратов, прибегли к процедуре анализа остатков (разность между экспериментальными данными и значениями, рассчитанными по регрессионному уравнению).

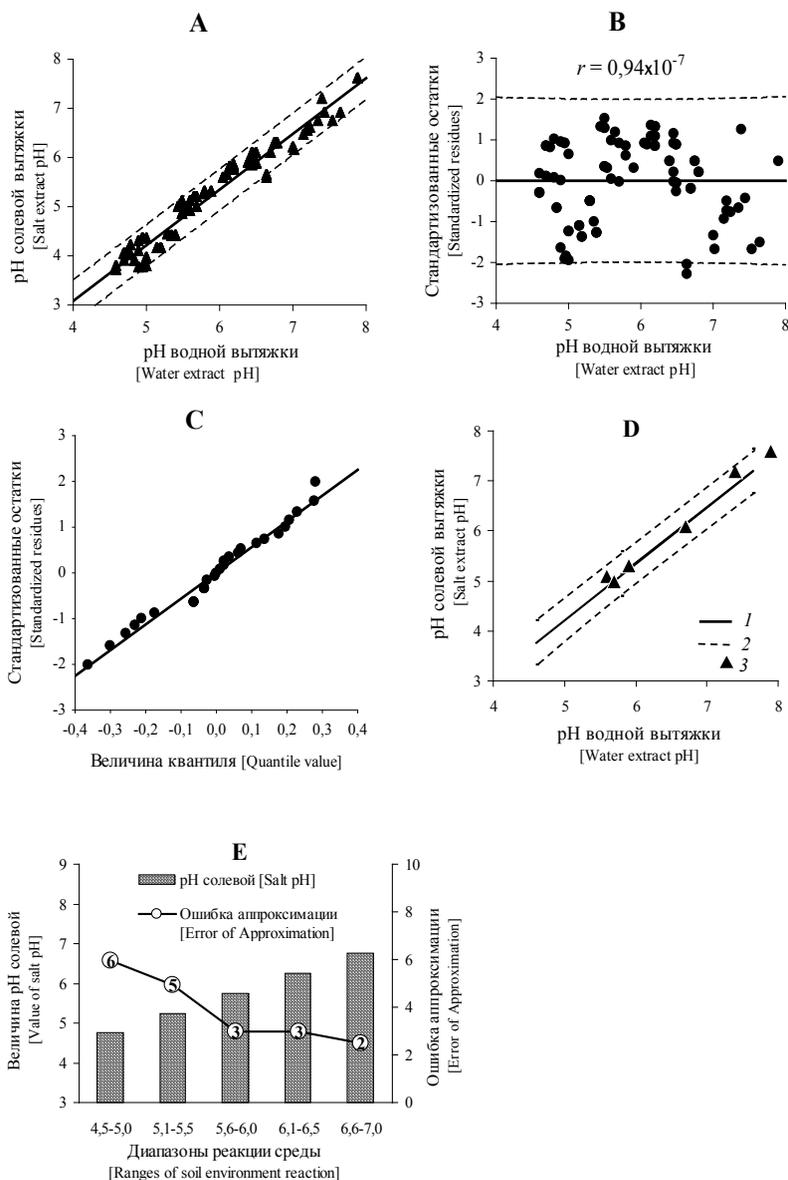


Рис. 5. Регрессионная модель связи величины рН солевой и рН водной вытяжки (А), зависимость стандартизованных регрессионных остатков от рН водной (В), соответствие нормальному распределению регрессионных остатков (С), верификация регрессионной модели по прогнозу величины рН солевой: 1 – прогнозируемые значения; 2 – доверительные интервалы, 3 – эмпирические данные (D), оценка точности прогноза (E). [Fig. 5. Regression relationship between pH of water and pH of salt extracts (A), the dependence of the standardized regression residues from water pH (B), accordance to the normal distribution of regression residues (C), quality test of regression model by the prediction of salt pH: 1 – predicted values, 2 – confidence intervals, 3 – empirical data (D), and estimation of prediction accuracy (E)]

Остатки примерно одинаково часто принимают как положительные, так и отрицательные значения и не обнаруживают зависимости от рН водной как независимой переменной ($r = 0,94 \times 10^{-7}$), что свидетельствует о правильно подобранной модели (см. рис. 5, В). О корректности применения регрессионной прямой в анализе данных говорит и приближенное к нормальному закону распределение остатков: точки диаграммы располагаются практически на одной линии без экстремальных значений (см. рис. 5, С).

Для проверки работоспособности регрессионной модели (верификации) использовали величины рН солевой и рН водной вытяжек торфяных почв, которые не участвовали в моделировании. Наблюдаемые показатели полностью находятся в пределах доверительных интервалов регрессионного уравнения, что также подтверждает высокие прогностические свойства модели (рис. 5, D).

Точность прогноза рассчитывали по формуле (2) и оценивали согласно [32]:

$$A = \left| \frac{y - y_p}{y} \right| \times 100\%, \quad (2)$$

где A – относительная ошибка аппроксимации, %, y – аналитические данные рН солевой вытяжки, y_p – расчетные значения рН_{сол}, $|y - y_p|$ – величины, соответствующие модулю.

Ошибка аппроксимации построенной модели составляет в среднем 3,9%, находится в интервале 2–6 % (см. рис. 5, E), что характеризует высокую и хорошую точность прогноза.

Кластеры торфяных почв по кислотно-основным показателям в соответствии с гипсометрическими ступенями рельефа дают основание, согласно [13, 33], рассматривать эти группировки на уровне парагенетических ассоциаций, которые в каскадной ландшафтно-геохимической системе восточного макросклона Кузнецкого Алатау организуются в следующие почвенные сочетания:

– Кислые по всему профилю торфяные почвы, ненасыщенные кальцием и магнием (<30–50%) в границах альпийско-тундровых и субальпийских комплексов на абсолютных высотах 1 500–1 100 м совместно с горнолуговыми почвами, согласно почвенному районированию [4].

– Слабокислые, слабонасыщенные основаниями (50–70%) в сочетании с горными подзолистыми и бурыми лесными почвами в пределах горнотаежного пояса темнохвойных лесов (1 100–800 м).

– Нейтральные, умеренно насыщенные щелочноземельными основаниями (70–90%) ассоциации торфяных почв подтаежно-лесостепного пояса (800–500 м) в комбинации с горными серыми лесными почвами.

Итак, для каждой геохимической ассоциации горных торфяных почв выделен свой специфический тип почвенных комбинаций, отражающий высотно-поясные закономерности компонентов биогеосистем восточного макросклона Кузнецкого Алатау, согласуясь с высотно-поясной структурой растительного покрова автоморфных местообитаний и гидрогеохимической

поясностью подземных вод. Однако в лесном поясе избыточно увлажненных местопроизрастаний независимо от кислотно-основных свойств торфяных почв формируются главным образом еловые древостои, которые не служат эдикатором кислотности среды, но отражают признаки почвенного гидроморфизма. С позиции поиска природных индикаторов динамики современного климата состояние коренной группы болотных ельников можно рекомендовать в качестве достаточно объективного критерия изменения регионального климата в сторону сухости.

Выводы

1. Впервые в заболоченных речных долинах различных абсолютных высот восточного макросклона Кузнецкого Алатау выполнена объективная группировка торфяных почв по кислотно-основным свойствам в три кластера. Наиболее высокий вклад в дискриминацию вносит степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса щелочноземельными основаниями (Ca + Mg), а также обменная кислотность (pH_{KCl}). Итоговое число классификационных попаданий составляет 89%.

2. Сгруппированные по кислотно-основным свойствам однородные совокупности торфяных почв рассматриваем в качестве геохимических ассоциаций, парагенетически связанных между собой. Обособлены: а) кислые по всему профилю ненасыщенные кальцием и магнием (<30–50%) в границах альпийско-тундровых и субальпийских комплексов на абсолютных высотах 1 500–1 100 м, б) слабокислые слабонасыщенные основаниями (50–70%) в пределах горно-таежного пояса темнохвойных лесов (1 100–800 м), в) нейтральные умеренно насыщенные щелочноземельными основаниями (70–90%) подтаежно-лесостепного пояса (800–500 м).

3. Предложена высокоточная линейная регрессионная модель прогнозных оценок величины обменной кислотности (pH_{KCl}) по данным активной (pH_{H_2O}), приемлемой в практике аналитических исследований.

4. Состояние древостоев болотных ельников в горно-таежном поясе можно отнести к числу достаточно объективных критериев изменения регионального климата в сторону сухости.

Литература

1. Пьявченко Н.И. К изучению болот Красноярского края // Заболоченные леса и болота Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–32.
2. Семенов В.А. Водные ресурсы // Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад; Всемирный фонд дикой природы (WWF России) / под ред. А.О. Кокорина. М., 2011. С. 52–72.
3. Мульдьяров Е.Я., Лапшина Е.Д. К изучению болот Кузнецкого Алатау // Сибирский экологический журнал. 2000. № 5. С. 645–652.

4. Ильиных Н.И. Почвы Кузнецкого Алатау. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1970. 166 с.
5. Смирнов М.П. Почвы Западного Саяна. М. : Наука, 1970. 236 с.
6. Волкова И.И., Байков К.С., Сысо А.И. Болота Кузнецкого Алатау как естественные фильтры природных вод // Сибирский экологический журнал. 2010. № 3. С. 379–388. doi: 10.1134/S1995425510030021
7. Платонов Г.М. Болота лесостепи Средней Сибири. М. : Наука, 1964. 116 с.
8. Ефремов С.П. Болота зоны КАТЭКа в связи с перспективами их хозяйственного использования и охраны // Почвы зоны КАТЭКа / под ред. В.М. Корсунова, Л.С. Шугалей. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1981. С. 41–56.
9. Ефремова Т.Т. Некоторые вопросы хозяйственного освоения осушенных болот // Почвы зоны КАТЭКа / под ред. В.М. Корсунова, Л.С. Шугалей. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1981. С. 56–65.
10. Кулижский С.П. Эффективный способ использования природоохранных территорий // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 1. С. 42–56.
11. Пьявченко Н.И., Корнилова Л.И. О диагностических показателях типов торфа // Почвоведение. 1978. № 10. С. 146–153.
12. Морозова Р.М. К вопросу о классификации болотных осушенных почв // Изменение лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения / под ред. Л.С. Козловской, В.М. Медведевой. Петрозаводск : КФ АН СССР, 1986. С. 108–124.
13. Глазовская М.А. Почвы мира. М. : Изд-во МГУ, 1972. 231 с.
14. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 21. Кн. 2. Красноярский край, Тувинская АССР / под ред. Н.С. Смирновой. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 408 с.
15. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : МГУ, 1970. 487 с.
16. Классификация почв России / под ред. Л.Л. Шишова, Г.В. Добровольского. М. : Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2000. 235 с.
17. Пьявченко Н.И. Степень разложения торфа и методы ее определения. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1963. 56 с.
18. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учебник. 3-е изд. М. : Бином-Пресс, 2007. 515 с.
19. Кокотов Ю.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Поле кислотности почв как ионообменных систем и диагностика генетических горизонтов // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1448–1459. doi: [10.1134/S1064229314120072](https://doi.org/10.1134/S1064229314120072)
20. Кокотов Ю.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Анализ показателей кислотности почвенного профиля и их связи с процессом почвообразования // Почвоведение. 2016. № 1. С. 3–10. doi: [10.1134/S1064229316010087](https://doi.org/10.1134/S1064229316010087)
21. Бочарников М.В., Исмаилова Д.М. Высотная поясность растительного покрова восточного макросклона Кузнецкого Алатау // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. № 6. С. 76–84.
22. Степанов В.М. Гидрогеологическая зональность в горных районах Восточной Сибири // Труды II совещания по подземным водам и инженерной геологии Восточной Сибири. Вып. I / под ред. В.Г. Ткачук. Иркутск, 1959. С. 71–84.
23. Ефремова Т.Т., Аврова А.Ф., Ефремов С.П. Морфолого-генетические типы подстилок болотных ельников // Сибирский лесной журнал. 2015. № 1. С. 58–73.
24. Dammon A.W.H., French T.W. The ecology of peat bogs of the glaciated northeastern United States // Biological Report 85 (7.16). Supt. of Documents. U.S. Fish and Wildlife Service. Washington DC, 1987. 100 p.
25. Pfadenhauer J. Tropische und subtropische Moore // Moor- und Torfkunde. Auflage 3. E. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), 1990. PP. 102–113.
26. Peatlands of the Western Guayana Highlands, Venezuela / ed. by Zinck J.A., Huber O. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. 295 p.

27. Investment-analysis.ru. URL: <http://investment-analysis.ru/metodFC2/daily-variance-arithmetic-mean-deviation.html>
28. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М. : Высшая школа, 2005. 558 с.
29. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе. Изд. 2-е, испр. и доп. Тула : Гриф и К, 2012. 124 с.
30. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Природа кислотных свойств подстилки болотных березняков // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2013. № 2. С. 205–219.
31. Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С., Пунегов В.В., Кызырова Е.В., Боброва Ю.И., Зуева О.М. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1325–1336. doi: [10.1134/S1064229317110102](https://doi.org/10.1134/S1064229317110102)
32. Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В., Бабаева И.В., Михайлов Б.А. Эконометрика. М. : Финансы и статистика, 2003. 344 с.
33. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М. : Астрей, 1999. 768 с.

*Поступила в редакцию 25.12.2017 г.; повторно 12.02.2018 г.;
принята 10.03.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.*

Авторский коллектив:

Ефремова Тамара Тимофеевна – д-р биол. наук, в.н.с. лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок 50/28).

E-mail: eft2@ksc.krasn.ru

Ефремов Станислав Петрович – д-р биол. наук, проф., гл.н.с. лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленно-го подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок 50/28).

E-mail: eft2@ksc.krasn.ru

Мелентьева Надежда Васильевна – м.н.с. лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок 50/28).

E-mail: avrova@ksc.krasn.ru

Аврова Ада Фёдоровна – канд. биол. наук, н.с. лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок 50/28).

E-mail: avrova@ksc.krasn.ru

For citation: Efremova TT, Efremov SP, Melent'eva NV, Avrova AF. Altitudinal differentiation of acid-base properties of the river valley peat soils in the Kuznetsk Alatau. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:135-155. doi: [10.17223/19988591/41/8](https://doi.org/10.17223/19988591/41/8) In Russian, English Summary

Tamara T. Efremova, Stanislav P. Efremov, Nadejda V. Melent'eva, Ada F. Avrova

VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS", Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

**Altitudinal differentiation of acid-base properties
of the river valley peat soils in the Kuznetsk Alatau**

In the complex structure of the vertical altitudinal zonality of the Altai-Sayan mountain country, peat soils were almost not represented. The aim of this research was to develop a topographic series of peat soils of the Kuznetsk Alatau. The studied peatlands were confined to the basins of the Belyi Iyus and the Chernyi Iyus rivers and

located at different hypsometric levels of the relief on the Eastern slope of the Kuznetsk Alatau, at 1543, 1087, 832, 622, 579 and 547m above sea level (See Fig. 1). As a criterion of vertical structural organization of soil, we used acid-base properties: water pH (water extract), salt pH (extract of 1M KCl) and general potential - nonexchangeable acidity (extract of 1M CH₃COONa). The determined value of acidity was multiplied by an empirical coefficient 1.75. The sum of exchangeable cations (by Kappen-Hilkovits) was found in the extract of 0.1M HCl, in which the Ca²⁺+Mg²⁺ was determined by complexometric titration. According to the difference between the sum of exchangeable cations and Ca²⁺+Mg²⁺, we identified the content of other (unidentified) cations. The degree of soil saturation with bases, expressed in %, was calculated as the proportion of exchangeable bases in 0.1M HCl solution to the sum (exchangeable bases + nonexchangeable acidity).

The V-diagrams, constructed on the basis of water pH, salt pH and saturation of soil absorbing complex (SAC) with exchangeable calcium and magnesium, describe the acidic trace of soil formation and simulate the acidification of top soil horizons in the course of peat genesis (See Fig. 2). High-precision regression model was proposed for the prediction of exchangeable acidity value (pH_{KCl}) by the value of active acidity (pH_{H₂O}). Using the methods of multivariate statistical analysis (discriminant, multidimensional scaling), we grouped peat soils into three clusters with acid-base characteristics. The parameter of SAC saturation by alkaline-earth cations and pH salt value makes the dominant contribution to the organization of peat soil clusters with a final prediction 89% (See Table 3, Fig. 4). In the structure of vertical soil zones of the Altai-Sayan mountain country, particularly of the Eastern slopes of the Kuznetsk Alatau, the geochemical associations (clusters) of peat soils were identified: a) acidic and unsaturated by calcium and magnesium (<30-50%) on the whole profile within the boundaries of alpine tundra and subalpine complexes at the altitude of 1500-1100 m; b) slightly acidic and slightly saturated with bases (50-70%) within the mountain-taiga zone of dark coniferous forests 1100-800 m a.s.; c) neutral and moderately saturated with alkaline-earth base (70-90%) associations of peat soils within the zone of subtaiga-forest-steppe 800-500 m a.s. (See Table 4). Chorological organization of peat soils is in accordance with the hydrochemical zoning of underground waters and high-zone structure of the vegetation cover at automorphic sites. However, in the forest zone of wetlands of the Kuznetsk Alatau eastern slope, regardless of acid-base properties of peat soils, spruce forests mainly form, reflecting the main characteristics of soil hydromorphism. In this regard, the status of indigenous groups of swamp spruce forests can be considered as sufficient objective criteria of a regional climate change towards dryness.

The paper contains 5 Figures, 5 Tables and 33 References.

Key words: mountain peatlands; water pH; salt pH; nonexchangeable acidity; saturation with bases; buffering; geochemical association; multivariate statistical analysis

References

1. P'yavchenko NI. K izucheniyu bolot Krasnoyarskogo kraya [On studying wetlands of Krasnoyarsk kray]. In: *Zabolochennyye lesa i bolota Sibiri* [Paludificated forests and swamps of Siberia]. Moscow: AN SSSR Publ.; 1963. pp. 5-32. In Russian
2. Semenov VA. Vodnye resursy [Water resources]. In: *Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochnyy doklad* [Climate change and its impact on ecosystems, population and economy

- of the Russian portion of the Altai-Sayan Ecoregion: Evaluation Report]. Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF Russia). Kokorin AO, editor. Moscow, 2011. pp. 52-72. In Russian
3. Muldiyarov EYa, Lapshina ED. K izucheniyu bolot Kuznetskogo Alatau [On studying wetlands of the Kuznetsk Alatau]. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal = Contemporary Journal of Ecology*. 2000;5:645-652. In Russian
 4. Il'inyh NI. Pochvy Kuznetskogo Alatau [Soils of the Kuznetsk Alatau]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizhnoe Publ.; 1970. 166 p. In Russian
 5. Smirnov MP. Pochvy Zapadnogo Sayana [Soils of the Western Sayan]. Moscow: Nauka Publ.; 1970. 236 p. In Russian
 6. Volkova II, Baikov KS, Syso AI. Kuznetsk Alatau mires as filters for natural waters. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010;3(3):265-271. doi: [10.1134/S1995425510030021](https://doi.org/10.1134/S1995425510030021)
 7. Platonov GM. Bolota lesostepi Sredney Sibiri [Forest-steppe zone wetlands of Middle Siberia]. Moscow: Nauka Publ.; 1964. 116 p. In Russian
 8. Efremov SP. Bolota zony KATEKa v svyazi s perspektivami ih hozyaystvennogo ispol'zovaniya i ohrany [Swamps of KATEK region in connection with the prospects of their economic use and protection]. In: *Pochvy zony KATEKa* [Soils of KATEK region]. Korsunov VM, Shugaley LS, editors. Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR Publ.; 1981. pp. 41-56. In Russian
 9. Efremova TT. Nekotorye voprosy hozyaystvennogo osvoeniya osushennykh bolot [Some questions of economic development of drained wetlands]. In: *Pochvy zony KATEKa* [Soils of KATEK region]. Korsunov VM and Shugaley LS, editors. Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR Publ.; 1981. pp. 56-65. In Russian
 10. Kulizhskiy SP. Effective way of use of nature protection territories. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2008;1:42-56. In Russian
 11. P'yavchenko NI, Kornilova LI. O diagnosticheskikh pokazatelyakh tipov torfa [On diagnostic indicators of peat types]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 1978;10:146-153. In Russian
 12. Morozova RM. K voprosu o klassifikatsii bolotnykh osushennykh pochv [On classification of swamp drained soils]. In: *Izmenenie lesobolotnykh biogeotsenozah pod vliyaniem osusheniya* [The change in swamp biocenoses under the influence of drainage]. Kozlovskaya LS and Medvedeva VM, editors. Petrozavodsk: KF AN SSSR Publ.; 1986. pp. 108-124. In Russian
 13. Glazovskaya MA. Pochvy mira [World soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1972. 231 p. In Russian
 14. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Vypusk 21. Kniga 2. Krasnoyarskiy kray, Tuvinskaya ASSR [Scientific applied handbook on the USSR climate. Iss. 21. Book 2. Krasnoyarsk kray, Tuva ASSR]. Smirnova NS, editor. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1990. 408 p. In Russian
 15. Arinushkina EV. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guid to chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1970. 487 p. In Russian
 16. *Klassifikatsiya pochv Rossii* [Soil classification of Russia]. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, editors. Moscow: Pochvennyy institut im. VV Dokuchaeva RASKhN Publ.; 2000. 235 p. In Russian
 17. P'yavchenko NI. Stepen' razlozheniya torfa i metody ee opredeleniya [Decomposition degree of peat and methods of its determination]. Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR Publ.; 1963. 56 p. In Russian
 18. Halafyan AA. STATISTICA 6. Statisticheskyy analiz dannykh [Statistical analysis of data]. 3rd ed. Moscow: OOO "Binom-Press" Publ.; 2007. 515 p. In Russian
 19. Kokotov YA, Suhacheva EY, Aparin BF. Acidity field of soils as ion-exchange systems and diagnostics of genetic soil horizons. *Eurasian Soil Science*. 2014;12:1227-1237. doi: [10.1134/S1064229314120072](https://doi.org/10.1134/S1064229314120072)

20. Kokotov YA, Suhacheva EY, Aparin BF. Analysis of the indices of acidity in the soil profile and their relationship with pedogenesis. *Eurasian Soil Science*. 2016;1:1-7. doi: [10.1134/S1064229316010087](https://doi.org/10.1134/S1064229316010087)
21. Stepanov VM. Hidrogeologicheskaya zonal'nost' v gornyykh rayonakh Vostochnoy Sibiri [Hydrogeological zonality in the mountainous regions of Eastern Siberia]. In: *Trudy II soveshchaniya po podzemnym vodam i inzhenernoy geologii Vostochnoy Sibiri*. Vypusk I [Proceedings of the II meeting on groundwater and engineering geology of Eastern Siberia. Iss. I]. Tkachuk VG, editor. Irkutsk. 1959. pp. 71-84. In Russian
22. Bocharnikov MV, Ismailova DM. Vertical altitudinal zonality of vegetation cover on the eastern slopes of the Kuznetsk Alatau Range. *Moscow University Geography Sciences Bulletin*. 2011;6:76-84.
23. Efremova TT, Avrova AF, Efremov SP. Morphogenetic litter types of bog spruce forests. *Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*. 2015;1:58-73. In Russian
24. Dammon AWH, French TW. The ecology of peat bogs of the glaciated northeastern United States. Biological Report 85 (7.16). Supt. of Documents. U.S. Fish and Wildlife Service. Washington DC, 1987. 100 p.
25. Pfadenhauer J. Tropische und subtropische Moore. In: *Moor- und Torfkunde*. Auflage 3. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), 1990. pp. 102-113. In German
26. Peatlands of the Western Guayana Highlands, Venezuela. Zinck JA, Huber O, editors. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 295 p.
27. Sait "Investment-analysis.ru". Available at: <http://investment-analysis.ru/metodFC2/daily-variance-arithmetic-mean-deviation.html> (assess 25.12.2017)
28. Orlov DS, Sadovnikova LK, Suhanova NI. Himiya pochv [Soil chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 2005. 558 p. In Russian
29. Sokolova TA, Tolpeshta II, Trofimov SYa. Pochvennaya kislotnost'. Kislотно-osnovnaya bufernost' pochv. Soedineniya alyuminiya v tverdoy faze pochvy i pochvennom rastvore [Soil acidity. Acid-base buffering of soils. Aluminium compounds in the solid phase and solution of soil]. 2nd ed. Tula: Grif i K Publ.; 2012. 124 p. In Russian
30. Efremova TT, Efremov SP. Nature of acidic properties of litter in bog birch forests. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya = Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2013;2:205-219. In Russian
31. Shamrikova EV, Deneva SV, Kubik OS, Punegov VV, Kyz'yurova EV, Bobrova Yul, Zueva OM. Acidity in organic horizons of arctic soils on the Barents Sea coast. *Eurasian Soil Science*. 2017;11:1283-1293. doi: [10.1134/S1064229317110102](https://doi.org/10.1134/S1064229317110102)
32. Eliseeva II, Kuryshva SV, Kosteeva TV, Babaeva IV, Mihaylov BA. Ekonometrika [Econometrics]. Moscow: Finansy i statistika Publ.; 2003. 344 p. In Russian
33. Perel'man AI, Kasimov NS. Geohimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Moscow: Astreya Publ.; 1999. 768 p. In Russian

Received 25 December 2017; Revised 21 February 2018;

Accepted 10 March 2018; Published 30 March 2018

Author info:

Efremova Tamara T, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS", Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok, bld. 28, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation.
E-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Efremov Stanislav P, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Principal Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of

Sciences, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok, bld. 28, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation.

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Melent’eva Nadejda V, Junior Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, VN Sukachev Institute of Forest Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok, bld.28, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation.

E-mail: avrova@ksc.krasn.ru

Avrova Ada F, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource Studies, VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Akademgorodok, bld. 28, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation.

E-mail: avrova@ksc.krasn.ru

УДК 597.554.3, 574.24
doi: 10.17223/19988591/41/9

Н.О. Яблоков

*Научно-исследовательский институт экологии
рыбохозяйственных водоемов, г. Красноярск, Россия*

Морфологические аномалии скелета у молоди рыб р. Качи (бассейн Среднего Енисея) в градиенте техногенной нагрузки

*Представлены данные о разнообразии и встречаемости морфологических аномалий в развитии скелета у молоди пескаря сибирского *Gobio gobio suposcephalus* Dybowski, 1869 и гольяна речного *Phoxinus phoxinus* (L., 1758) для четырех участков р. Качи (бассейн Среднего Енисея). В общей сложности диагностировано 95 аномалий морфологии скелета, принадлежащих к 12 типам и локализованных в 6 отделах скелета. У молоди пескаря обнаружены 62 аномалии 7 типов, у молоди гольяна – 33 аномалии 10 типов. Отмеченные аномалии локализовались преимущественно в хвостовом отделе позвоночника и представляли собой разнообразные деформации невральных и гемальных дуг, такие как незамкнутые дуги позвонков, сращение дуг разных позвонков, перемещение дуг на соседние позвонки. Встречаемость аномалий варьировала в пределах от 6,5 до 55,7% у молоди пескаря, от 8,4 до 75,0% у молоди гольяна. Частота встречаемости аномальных особей составила 4,6–10,4% для молоди пескаря и 7,4–11,7% для молоди гольяна. Доли тяжелых форм аномалий у молоди двух видов были близки и изменялись в пределах от 0 до 80% от верхнего течения реки к нижнему. При анализе встречаемости аномалий в р. Каче прослеживается тенденция увеличения частоты встречаемости по мере усиления антропогенной нагрузки на водоток. В целом значения показателей встречаемости аномалий в развитии скелета в нижнем течении р. Качи близки к частотам встречаемости аномалий позвоночного столба у молоди рыб, ранее отмеченным в ряде пригородных водотоков г. Красноярска.*

Ключевые слова: *онтогенез рыб; морфологические аномалии; техногенное воздействие; *Phoxinus phoxinus*; *Gobio gobio suposcephalus*.*

Введение

Преобладающая часть малых рек России подвержена активному техногенному воздействию [1]. Наиболее критично это проявляется в городских и пригородных водных объектах, принимающих на себя огромное количество загрязнителей органического и неорганического происхождения [2]. В бассейне р. Енисей ярким примером такого воздействия является р. Кача (левобережный приток первого порядка протяженностью 102 км), нижнее течение которой находится в черте г. Красноярска и подвергается постоян-

ному воздействию техногенных загрязнителей. Согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году» участок реки, расположенный в черте г. Красноярска, внесен в перечень наиболее загрязненных водных объектов на территории РФ [3]. Список поллютантов в р. Каче включает железо, медь, цинк, алюминий, марганец и фенолы [4]. В 2015 г. нормативы качества превышали среднегодовые значения для следующих показателей: ХПК (в 1,2 раза), БПК₅ (в 1,1 раза), железо общее (4,3 ПДК), алюминий (12 ПДК), марганец (9 ПДК), медь (2,5 ПДК) [5]. На протяжении нескольких лет в реке отмечается тенденция увеличения среднегодовых концентраций металлов (алюминия, марганца, железа) в направлении от истока к устью.

При определении экологического состояния водных экосистем широко применяется индикация по состоянию организмов гидробионтов [6–7]. Одну из важнейших позиций здесь занимает рыбное сообщество. Это связано с высоким разнообразием занимаемых рыбами экологических ниш, продолжительным жизненным циклом, главенствующим положением в пищевых цепях и рядом других факторов [8–10]. Рыбы наиболее чувствительны к воздействию поллютантов главным образом на ранних стадиях онтогенеза, в связи с наименьшим уровнем токсикорезистентности по сравнению с взрослыми особями, а также невозможностью активно уходить из районов с высоким уровнем загрязнения [9]. На основании этого ряд авторов в качестве критерия оценки качества вод предлагают использовать показатели разнообразия и встречаемости морфологических аномалий развития личинок и молоди рыб, являющихся своеобразным ответом на действие комплекса неблагоприятных факторов абиотического происхождения, в том числе присутствие в экосистеме токсических веществ [10–13]. Несмотря на обилие натуральных и экспериментальных исследований, посвященных изучению морфофункциональных нарушений, возникающих у рыб, населяющих водные объекты с различной степенью антропогенной нагрузки, аспекты изучения механизмов возникновения морфологических аномалий в настоящее время не теряют своей актуальности и играют важную роль в оценке состояния популяций рыб [13–14].

Цель настоящей работы – изучение разнообразия и встречаемости аномалий развития скелета у молоди гольяна речного и пескаря сибирского в р. Каче.

Материалы и методики исследования

Объектом исследования являлась разновозрастная молодь гольяна речного *Phoxinus phoxinus* (L., 1758) и пескаря сибирского *Gobio gobio synocephalus* Dybowski, 1869 – наиболее распространенных и многочисленных видов рыб, населяющих бассейн р. Енисей.

Ихтиологический материал отбирался в июле–августе 2016 г. на четырех участках реки, различающихся уровнем техногенной нагрузки и спектром

загрязняющих веществ: станция 1 – в черте г. Красноярска; станция 2 – д. Дрокино, 1 км ниже деревни; станция 3 – пос. Памяти 13 Борцов, 1 км ниже поселка; Станция 4 – пл. Лесная, 0,5 км ниже ж/д полотна (рис. 1). Перечень основных загрязняющих агентов, а также сводная информация по результатам мониторинга окружающей среды на исследуемых участках реки приведены в табл. 1.

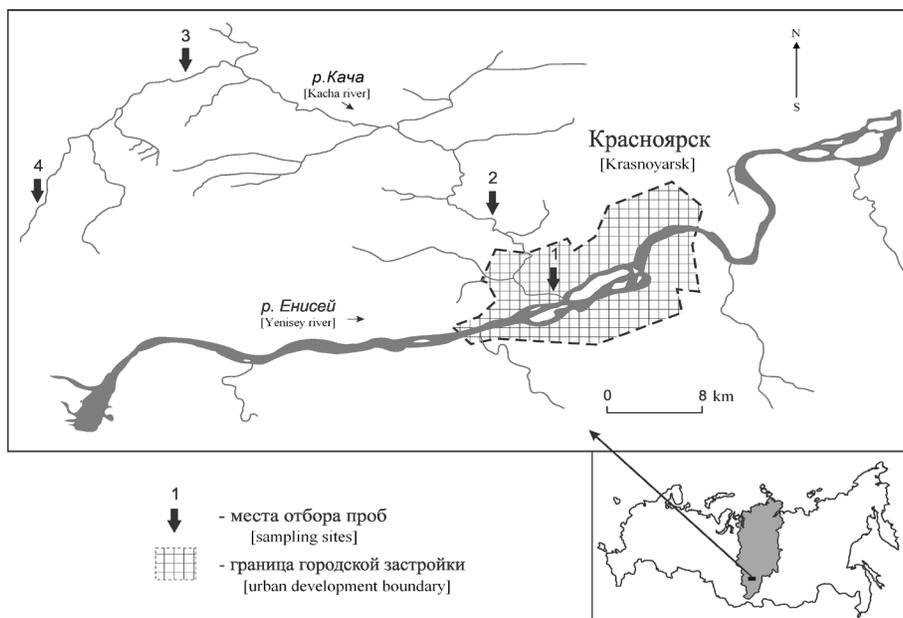


Рис. 1. Карта-схема района исследований
[Fig. 1. Schematic map of the study area]

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Данные мониторинговых исследований в пределах участков отбора проб
[Results of monitoring studies at the sampling sites]

№	Место отбора [Sampling site]	Расстояние от устья, км [Distance from the river mouth, km]	Координаты [Coordinates]	УКИЗВ [YuKIZV] [5]	Индекс Вудивисса [Woodiviss biotic index] [15, 16]	Загрязняющий агент (ПДК _{сан}) [Pollutant (TLV _{сан})] [5]
1	Красноярск [Krasnoyarsk]	1	56°01'06"N 92°52'44"E	4а, грязная [4a, dirty]	V грязная [V dirty]	Al (16,4), Mn (18,9), Fe (19,3), нефтепродукты (10,2) [Petroleum products (10,2)], фенолы [Phenols]

Окончание табл. 1 [Table 1 (end)]

№	Место отбора [Sampling site]	Расстояние от устья, км [Distance from the river mouth, km]	Координаты [Coordinates]	УКИЗВ [YuKIZV] [5]	Индекс Вудивисса [Woodiviss biotic index] [15, 16]	Загрязняющий агент (П/ДК _{сан}) [Pollutant (TLV _{сан})] [5]
2	Дрокино [Drokino]	15	56°05'23"N 92°48'01"E	4а, грязная [4a, dirty]	IV загрязненная [IV polluted]	Mn (15,0), Al (13,4), фенолы [Phenols], γ-ГХЦГ [γ-hch]
3	Памяти 13 Борцов [Pam'yaty 13 Bortsov]	65	56°13'20"N 92°20'21"E	4а, грязная [4a, dirty]	V грязная [V dirty]	Al (12,0), Mn (9,0), Fe(4,3), Cu (2,0)
4	Лесная [Lesnaya]	87	56°06'01"N, 92°09'58"E	3б, очень загрязненная [3b, very polluted]	–	Al (11,0)

Общая величина пробы составила 396 экз., среди которых пескаря сибирского – 184 экз., голяна речного – 212 экз. Размерно-возрастные характеристики исследованных особей приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Размерно-возрастные характеристики проб молоди рыб из р. Качи
[Size and age characteristics of juvenile fish samples from the Kacha river]

Станция, № [Station, No]	Вид [Species]	N, экз. [Number, ind.]	Абсолютная длина, мм [Total length, mm] <i>M ± m</i>	Возраст [Age]
1	<i>Gobio gobio cynocephalus</i>	70	19,9 ± 0,5	0+, 1+
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	17	22,5 ± 0,6	0+, 1+
2	<i>Gobio gobio cynocephalus</i>	68	15,3 ± 0,3	0+
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	12	17,8 ± 0,8	0+, 1+
3	<i>Gobio gobio cynocephalus</i>	46	22,2 ± 0,6	0+, 1+
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	95	24,0 ± 0,4	0+, 1+
4	<i>Phoxinus phoxinus</i>	88	16,4 ± 0,6	0+

Морфологические аномалии скелета изучены на препаратах, предварительно окрашенных ализариновым красным по методике Поттхофа [17], с использованием стереоскопического микроскопа MC2-Zoom (Микромед, Россия) при оптическом увеличении 40×. Осмотр произведен последовательно в 9 отделах скелета (табл. 3). При этом осевой скелет разделен на

четыре отдела – позвонки Веберова аппарата (первые четыре позвонка и их модифицированные элементы), туловищные и переходные позвонки (позвонки с открытой гемальной дугой, несущие ребра или незамкнутые парапофизы), хвостовые позвонки (позвонки с замкнутыми невральной и гемальной дугами и выраженными верхним и нижним остистыми отростками) и преуральные позвонки (три последних хвостовых позвонка) и уростиль [18–19]. Номенклатура и дифференцировка аномалий по степени тяжести приведены по аналогии с работами Ю.В. Чеботаревой и К. Боглионе с соавт. [12, 20]. Для описания вида и расположения аномалии использовалась система условных обозначений, согласно которой каждому отделу скелета присваивался буквенный индекс, а конкретному виду аномалий числовой (см. табл. 3).

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

Условные обозначения отделов скелета и типов отмеченных аномалий
[Symbols of the skeleton regions and types of observed abnormalities]

Обозначение [Symbol]	Отдел скелета [Skeleton region]
A	Позвонки Веберова аппарата [Vertebrae of the Weberian apparatus]
B	Туловищные и переходные позвонки [Abdominal vertebrae]
C	Хвостовые позвонки [Caudal vertebrae]
D	Преуральные позвонки и уростиль [Preural vertebrae and urostile]
E	Лучи грудного плавника [Pectoral fin rays]
F	Анальный плавник [Anal fin]
G	Хвостовой плавник [Caudal fin]
H	Спинной плавник [Dorsal fin]
I	Череп [Cranium]
Обозначение [Symbol]	Вид аномалии [Abnormality type]
1	Сращение центров позвонков* [Vertebral fusion]*
2	Деформация центра позвонка* [Vertebral deformation]*
3	Деформация невральной дуги* [Anomalous neural arch]*
4	Деформация гемальной дуги* [Anomalous hemal arch]*
5	Деформация / недоразвитие луча плавника [Anomalous / absent ray]
6	Деформация гипуралии [Anomalous hypural]
7	<i>Прогнатизм зубной кости («монсовидность»)</i> [Anomalous dentary (pugheadness)]
8	Деформация ребер [Anomalous ribs]

Примечание. Курсивом выделены тяжелые формы аномалий; аномалии, отмеченные значком *, рассматривались как тяжелые, если отмечались у особи более чем один раз.

[Note. Severe types of abnormalities are *in italics*, abnormalities marked by * were considered as severe if they were observed more than once].

Оценка количественных показателей морфологических аномалий скелета проводилась на основании частоты встречаемости аномалий в выборке (доля случаев аномального развития в выборке N), частоты встречаемости

аномальных особей (доля аномальных особей в выборке N), общего спектра аномалий (набор различных видов аномалий, обнаруживаемых у всех особей в выборке, S_{ap}), числа аномалий на особь (количество аномалий, отмеченных у одной аномальной особи) и относительной встречаемости аномалий (A_p). Относительную встречаемость аномалии рассчитывали как отношение общего числа аномалий определенного типа к сумме всех зарегистрированных случаев аномалий в выборке (в %) [21]. Качественная оценка проводилась на основании учета доли тяжелых форм аномалий от их общего числа в выборке.

Статистическая обработка данных и построение графических изображений выполнены с использованием программ Microsoft Excel и PAST. Данные о размерном составе рыб и количестве аномалий на особь представлены в виде средних арифметических со стандартными ошибками среднего. Встречаемость аномалий в выборке и частота встречаемости аномальных особей сравнивались через таблицы сопряженности 2×2 с оценкой χ^2 при $p < 0,01$. Оценка различий в количестве аномалий на особь исследовалась методом Крускала–Уоллеса. Результаты анализа частоты встречаемости аномальных особей и морфологических аномалий представлены в виде средних арифметических с доверительными интервалами. Расчет доверительных интервалов по частоте встречаемости на разных станциях выполнен методом Уилсона.

Результаты исследования

При тотальном осмотре скелетов молоди рыб из р. Качи в общей сложности диагностировано 95 морфологических аномалий, принадлежащих к 12 типам.

У молоди пескаря отмечено 62 аномалии, представленные 7 типами. Аномалии локализовались преимущественно в туловищном и хвостовом отделах позвоночного столба. Основную массу составили такие нарушения, как деформация невральных и гемальных дуг хвостового отдела осевого скелета, деформация невральных дуг туловищного отдела осевого скелета. Аномалии позвоночника проявлялись в виде незамкнутых невральных и гемальных дуг, сращения гемальных и невральных дуг разных позвонков, перемещения оснований невральных и гемальных дуг на соседний позвонок, наличия дополнительных ветвей невральных дуг, сращений центров хвостовых позвонков. Также единично отмечены искривление ребер и недоразвитие лучей анального плавника. Число аномалий на особь варьировало от 1,1 до 6,5 и увеличивалось от верховьев к устью. Встречаемость аномалий изменялась в пределах от 6,5 до 55,7% и также характеризовалась увеличением доли аномалий в выборке в нижнем течении реки. Встречаемость аномальных особей составляла 4,4–10,3% с максимальным значением на станции 2, минимальным – на станции 3 (табл. 4). Примечательны находки двух особей пескаря, подверженных многочисленным нарушениям осевого скелета (23 и 10 аномалий на особь), на станции 1 (рис. 2).

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

Показатели встречаемости аномалий скелета у молоди рыб из р. Качи
[Occurrence indicators of skeletal abnormalities in juvenile fish from the Kacha river]

Аномалия [Abnormality]	Станция 1 [Station 1]		Станция 2 [Station 2]		Станция 3 [Station 3]		Станция 4 [Station 4]	
	S_{ap}	$A_r, \%$						
<i>Gobio gobio cynocephalus</i>								
B3	8	20,51	9	45,00	–	–	–	–
B8	1	2,56	–	–	3	100	–	–
C1	–	–	1	5,00	–	–	–	–
C2	1	2,56	–	–	–	–	–	–
C3	16	41,03	6	30,00	–	–	–	–
C4	11	28,21	4	20,00	–	–	–	–
F5	1	2,56	–	–	–	–	–	–
Количество аномалий, шт. [Number of abnormalities]	39		20		3		–	
Встречаемость аномальных особей [Occurrence of abnormal individuals], %	8,57		10,30		4,35		–	
Встречаемость аномалий [Occurrence of abnormalities], %	55,71		29,41		6,52		–	
Доля тяжелых аномалий, [Proportion of severe abnormalities], %	82,05		60,00		0,00		–	
Число аномалий на особь, шт. [Number of abnormalities per individual], $M \pm m$	6,5±3,59		3,3±1,94		1,14±0,50		–	
<i>Phoxinus phoxinus</i>								
B3	–	–	2	22,20	1	12,5	2	18,2
B8	–	–	–	–	3	37,5	–	–
C2	–	–	–	–	–	–	2	18,2
C3	5	100	5	55,60	–	–	–	–
C4	–	–	2	22,20	1	12,5	4	36,4
D1	–	–	–	–	–	–	1	9,1
D2	–	–	–	–	2	25,0	–	–
D4	–	–	–	–	–	–	1	9,1
G6	–	–	–	–	1	12,5	–	–
I7	–	–	–	–	–	–	1	9,1
Количество аномалий, шт [Number of abnormalities]	5		9		8		11	
Встречаемость аномальных особей [Occurrence of abnormal individuals], %	11,70		8,30		7,36		10,20	
Встречаемость аномалий [Occurrence of abnormalities], %	29,41		75,00		8,42		12,50	
Доля тяжелых аномалий [Proportion of severe abnormalities], %	80,00		55,56		0,00		9,09	
Число аномалий на особь, шт. [Number of abnormalities per individual], $M \pm m$	2,5±1,50		9		1,5±0,14		1,22±0,15	

Примечание. S_{ap} – общий спектр аномалий; A_r – относительная встречаемость аномалий.
 [Note. S_{ap} - Total spectrum of abnormalities; A_r - Relative occurrence of abnormalities]

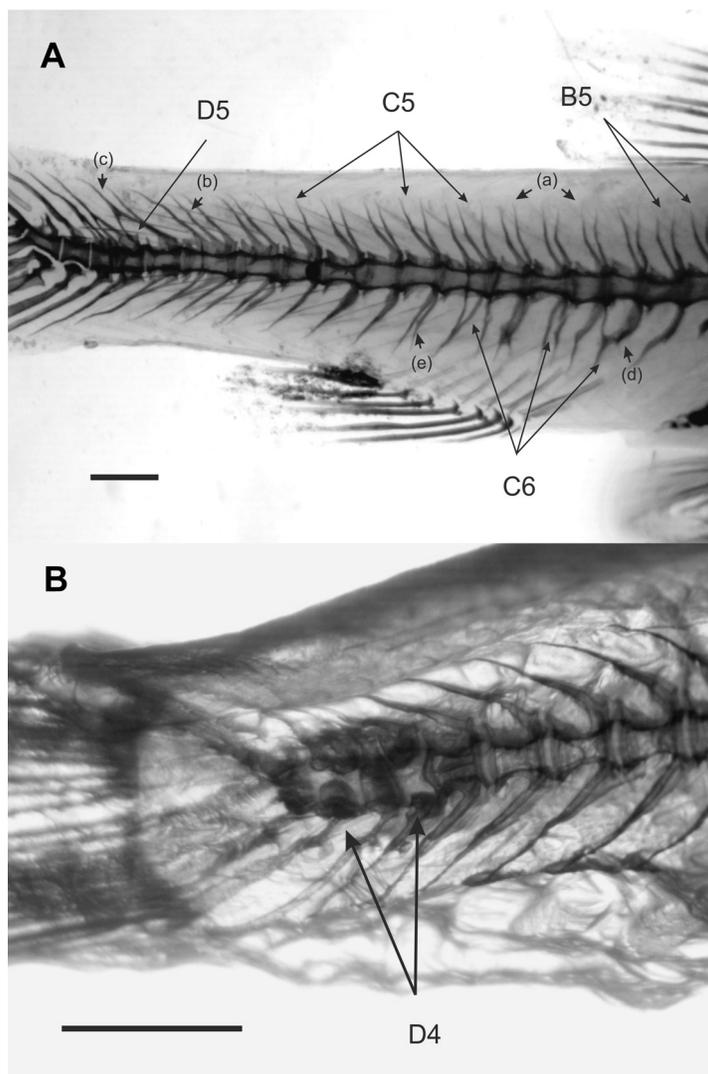


Рис. 2. Аномалии скелета у молоди пескаря сибирского (A) и голяна речного (B): аномалии невральных дуг туловищных (B5); хвостовых (C5) (a – незамкнутые невральные дуги, b – дополнительные ветви невральной дуги) и преуральных позвонков (D5) (c – сращение невральных дуг разных позвонков); деформация гемальных дуг гемального отдела (C6) (d – сращение гемальных дуг разных позвонков, e – незамкнутые гемальные дуги); деформация тел позвонков хвостового отдела (D4). Размер масштабной линейки 1 мм. Фото автора

[Fig. 2. Skeletal abnormalities in juveniles of the Siberian gudgeon (A) and the common minnow (B): abnormalities of neural arches in prehemal (B5), hemal (C5) (a - Unclosed neural arches, b - Additional branches of the neural arches) and caudal regions (D5) (c - Fusion of neural arches of different vertebrae), deformation of hemal arches in hemal region (C6) (d - Fusion of hemal arches of different vertebrae, unclosed hemal arches), vertebral body deformation in caudal region (D4). Scale bar = 1 mm. Photo is made by NO Yablokov]

У молоди голяна диагностировано 33 аномалии, принадлежащие к 10 типам. В целом преобладали нарушения туловищного и хвостового отделов осевого скелета. Морфологические аномалии позвоночника проявлялись в виде деформации и сращения центров позвонков, присутствия незамкнутых невральных и гемальных дуг, перемещения оснований невральных дуг на соседний позвонок. Также отмечены единичные случаи «мопсовидности» и деформации гипуралий. Количественно преобладали такие нарушения, как деформация невральных дуг туловищного отдела, деформация невральных и гемальных дуг хвостового отдела позвоночника. Наибольшее число аномалий на особь составило 9 аномалий, при средневыборочных значениях 1,2–9,0. Встречаемость аномалий в выборках варьировала от 8,4 до 75,0%. Наибольшие значения встречаемости наблюдались на станции 2, наименьшие – на станции 3. Встречаемость аномальных особей изменялась незначительно в пределах 7,4–11,7%.

Доли тяжелых форм аномалий у молоди двух видов были близки и варьировали в пределах от 0 до 80%. Наибольшее число тяжелых аномалий отмечалось на приустьевом участке реки, в то время как в верхней и средней частях реки доля рыб с тяжелыми аномалиями составляла менее чем 10%.

Оценка значимости различий между встречаемостью аномалий на четырех станциях, выполненная посредством критерия χ^2 , показала наличие статистически значимых различий как для молоди пескаря, так и для молоди голяна. При уровне значимости $p < 0,01$ значения критерия χ^2 составили 30,952 у пескаря (при $\chi^2_{\text{крит}} = 9,21$) и 39,051 у голяна (при $\chi^2_{\text{крит}} = 11,345$). При оценке доверительных интервалов для частоты встречаемости аномалий на трех изученных станциях обнаружены различия между выборками молоди пескаря. У молоди голяна обнаружены статистически значимые различия между станцией 2 и станциями 3 и 4 (рис. 3, А).

При аналогичной оценке значимости различий между встречаемостью аномальных особей различия не отмечены (рис. 3, В).

При оценке различий в количестве аномалий на особь у молоди рыб, отобранной с четырех исследованных станций, различия не обнаружены. Значимые различия в количестве аномалий между видами также отсутствовали.

Обсуждение результатов исследования

Анализ количественных и качественных характеристик морфологических аномалий скелета у молоди пескаря сибирского и голяна речного из р. Качи продемонстрировал значительные расхождения по ряду показателей в различных участках реки.

В частности, при анализе встречаемости аномалий в р. Каче прослеживается тенденция увеличения частоты встречаемости морфологических аномалий скелета от верхнего участка реки к нижнему. Наибольшим числом аномалий характеризуются рыбы с участков реки, расположенных в черте г.

Красноярска и ниже д. Дрокино, чего нельзя сказать о частоте встречаемости аномальных особей. Колебания в частоте встречаемости аномальных особей изменяются в пределах от 4,6 до 10,4% для молоди пескаря и от 7,4 до 11,7% для молоди голяяна. Однако, согласно работам В.С. Кирпичникова, в естественных популяциях рыб, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки, процент аномальных особей не должен превышать 5% [22]. Полученные значения встречаемости аномальных особей, за исключением молоди пескаря, обитающей в районе пос. Памяти 13 Борцов, в полтора-два раза выше допустимой величины.

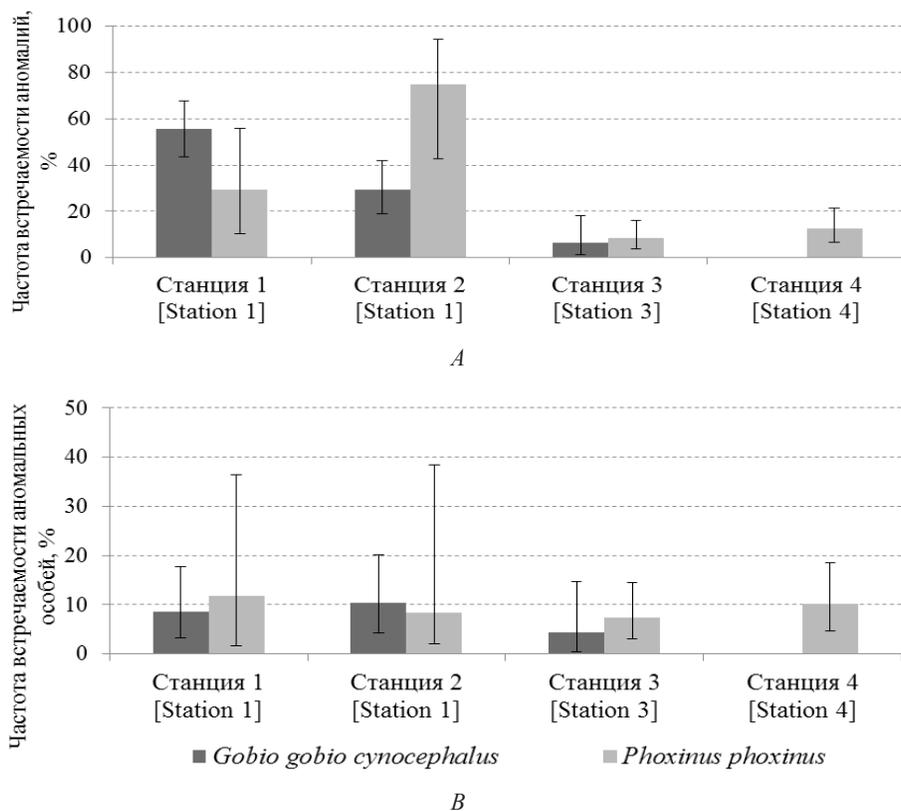


Рис. 3. Частота встречаемости аномалий (А) и аномальных особей (В) у молоди рыб из р. Качи. Планки погрешностей представлены в виде доверительных интервалов по Уилсону
[Fig. 3. Frequency of abnormalities (A) and abnormal individuals (B) in juvenile fish from the Kacha river. On the X-axis - Sampling sites; on the Y-axis - Occurrence of abnormalities (A) and occurrence of abnormal individuals (B). Error bars are presented as Wilson confidence intervals]

Также следует отметить, что значения показателей встречаемости аномалий в развитии скелета в нижнем течении р. Качи близки к частоте встречаемости аномалий позвоночного столба у молоди рыб, населяющих приустьевые участки некоторых пригородных водотоков г. Красноярска, подверженных антропогенной нагрузке [23].

При качественной оценке отмеченных аномалий стоит обратить внимание на большое количество тяжелых форм аномалий в нижних участках реки, составляющих 80–50% от общего числа аномалий. Присутствие данных групп аномалий в естественных популяциях наиболее критично, так как напрямую связано с жизнеспособностью рыбы.

Диагностированные в пробах виды аномалий преимущественно представляют собой разнообразные деформации невральных и гемальных дуг, такие как незамкнутые дуги позвонков, сращение дуг разных позвонков, перемещение дуг на соседние позвонки. Аномалии локализовались, прежде всего, в хвостовом отделе позвоночника и, в меньшей степени, в туловищном отделе.

Схожие группы аномалий, в частности незамкнутые дуги позвонков, сращение дуг разных позвонков, наличие дополнительных невральных дуг, перемещение дуг на соседние позвонки, отмечались Ю.В. Чеботаревой у сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) при экспериментальном воздействии на икру малых доз хлорофоса и N-метил-N'-нитро-N-нитрозогуадина (MNNG) [12]. Множественные аномалии позвоночного столба, такие как сращения тел и дуг позвонков, незамкнутые дуги позвонков, наличие дополнительных невральных дуг, перемещение дуг на соседние позвонки, с частотой встречаемости 94–97% отмечались И.Г. Богуцкой с соавт. у плотвы в окрестных водных объектах производственного объединения «Маяк» [19]. Аномалии морфологии позвонков регистрируются у взрослых особей и молоди тилапии *Oreochromis spp.* в нескольких загрязненных водотоках на юго-западе Тайваня [24]. Такие нарушения, как мопсовидность и сращение центров позвонков, отмечались у половозрелых особей сиговых в озерах Норило-Пясинской водной системы, в зоне воздействия Норильского горно-металлургического комбината [25], а также у леща *Abramis brama* (L., 1758) в двух техногенно загрязненных водных объектах в бассейне Рейна [26]. Л.И. Соколов (1998) отмечает мопсовидность и искривление позвоночника у представителей ихтиофауны р. Москвы: плотвы, серебряного карася *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), леща, судака *Sander lucioperca* (L., 1758), окуня *Perca fluviatilis* L., 1758 [27]. Аналогичные аномалии диагностированы у молоди окуня в оз. Ильменском [11].

В настоящее время известно множество примеров ингибирования поглощения кальция при высоких содержаниях в воде кадмия, свинца, цинка, стронция, алюминия [28–29]. В ряде работ ионы алюминия и стронция отмечаются в качестве факторов, индуцирующих нарушения кальцификации скелета, в дальнейшем проявляющиеся в виде искривлений позвоночника и

остеопороза [30–31]. Нарушение химического состава костной ткани, возникновение нарушений в строении осевого скелета также регистрируются у рыб, подверженных влиянию различных хлорорганических пестицидов [32–33].

Список поллютантов в р. Каче включает широкий спектр веществ органической и неорганической природы. Очевидно, что такое многообразие загрязняющих агентов служит причиной различных структурных и функциональных изменений в сообществе рыб, в том числе и возникновения морфологических нарушений в процессах индивидуального развития. Подобные случаи хорошо известны для ряда пригородных водных объектов в нашей стране и за рубежом [24, 27, 34].

Таким образом, велика вероятность того, что высокая встречаемость морфологических аномалий в нижнем течении р. Качи связана именно с воздействием определенных групп токсикантов. Однако в связи с разнообразием загрязняющих веществ в реке и недостаточной изученностью механизмов формирования различных форм отклонений развития выявление конкретного фактора воздействия на онтогенез рыб на данном этапе не представляется возможным.

Заключение

Проведена количественная и качественная оценка морфологических аномалий скелета у молоди пескаря сибирского и гольяна речного, обитающих в р. Каче. Всего обнаружено 95 аномалий, принадлежащих к 12 типам и локализованных в 6 отделах скелета. Среди них у молоди пескаря – 62 аномалии 7 типов, у молоди гольяна – 33 аномалии 10 типов. При анализе частот встречаемости аномалий в р. Каче прослеживается тенденция увеличения встречаемости морфологических аномалий скелета от верхнего участка реки к нижнему по мере роста техногенного воздействия на водоток. Значения показателей встречаемости аномалий в нижнем течении р. Качи близки к частотам встречаемости аномалий позвоночного столба у молоди рыб, ранее отмеченным для некоторых пригородных водотоков г. Красноярска, подверженных антропогенной нагрузке.

Литература

1. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: экологическое состояние и экологические проблемы. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2002. Вып. 64. 114 с. (Серия: Экология).
2. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. 2003. Т. 5, № 2. С. 268–277.
3. О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. М. : Минприроды России, 2016. 639 с.
4. О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М. : Минприроды России, 2015. 473 с.

5. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2015 году: Государственный доклад. Красноярск, 2016. 314 с.
6. Моисеенко Т.И., Гашев С.Н., Селюков А.Г., Жигилева О.Н., Алешина О.Н. Биологические методы оценки качества вод. Ч. 1: Биоиндикация // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2010. № 7. С. 20–40.
7. Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск : НГУ, 2002. 270 с.
8. Кашулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра АН СССР, 1999. 142 с.
9. Евланов И.А., Минеев А.К., Розенберг Г.С. Оценка состояния пресноводных экосистем по морфологическим аномалиям у личинок рыб. Тольятти : ИЭВБ РАН, 1999. 38 с.
10. Госькова О.А., Мельниченко И.П., Богданов В.Д. Морфологические аномалии и травмы у пеляди в период нерестовой миграции в уральских притоках Оби // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2014. № 4. С. 7–15.
11. Перескоков А.В. Сравнение уровня аберраций у молоди окуня с накоплением тяжелых металлов в икре // Известия Челябинского научного центра. 2004. № 3. С. 101–105.
12. Чеботарева Ю.В. Аномалии в строении позвоночника у сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* после воздействия токсикантов на ранние стадии развития // Вопросы ихтиологии, 2009. Т. 49, № 1. С. 102–110.
13. Boglione C., Costa C., Giganti M., Cecchetti M., Di Dato P., Scardi M., Cataudella S. Biological monitoring of wild thicklip grey mullet (*Chelon labrosus*), golden grey mullet (*Liza aurata*), thinlip mullet (*Liza ramada*) and flathead mullet (*Mugil cephalus*) (Pisces: Mugilidae) from different Adriatic sites: meristic counts and skeletal abnormalities // Ecological Indicators. 2006. № 6. PP. 712–732.
14. Минеев А.К. Неспецифические реакции у рыб из водоемов Средней и Нижней Волги // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3 (7). С. 2301–2318.
15. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулелина С.П., Шадрин И.А., Глазков А.Е. Качество воды реки Кача по биологическим (перифитон, макрозообентос, биотестирование) и химическим дескрипторам // Вестник КрасГУ. 2005. Вып. 5. С. 137–146.
16. Семенова Е.М. Донные сообщества в оценке качества воды реки Кача // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XIV Междунар. научно-практической школы-конференции студентов и молодых ученых / под ред. В.В. Анюшина. Абакан : ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2010. Вып. 14, т. 1. С. 89–90
17. Potthoff T. Clearing and staining techniques // Ontogeny and systematics of fishes. Special Publication of American Society of Ichthyology. Moser H.G., editor. Lawrence : Allen Press, 1984. Vol. 1. PP. 35–37.
18. Naseka A.M. Comparative study on the vertebral column in the Gobioninae (Cyprinidae, Pisces) with special reference to its systematics // Publicaciones Especiales Instituto Espanol de Oceanografia. 1996. Vol. 21. PP. 149–167.
19. Bogutskaya N.G., Zuykov M.A., Naseka A.M., Anderson E.B. Normal axial skeleton structure in common roach *Rutilus rutilus* (Actinopterygii: Cyprinidae) and malformations due to radiation contamination in the area of the Mayak (Chelyabinsk Province, Russia) nuclear plant // Journal of fish biology. 2011. Vol. 79, № 4. PP. 991–1016.
20. Boglione C., Gagliardi F., Scardi M., Cataudella S. Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758) // Aquaculture. 2002. № 192. PP. 1–22.

21. Боркин Л.Я., Безман-Мосейко О.С., Литвинчук С.Н. Оценка встречаемости морфологических аномалий в природных популяциях (на примере амфибий) // Труды Зоологического института РАН. 2012. Т. 316, № 4. С. 324–343.
22. Кирпичников В.С. Генетика и селекция рыб. Л. : Наука, 1987. 320 стр.
23. Яблоков Н.О. Разнообразие и встречаемость морфологических аномалий молоди рыб водных объектов Енисея и Оби // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы : материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Ю. М. Попова. Самара : Порто-принт, 2013. С. 303–310.
24. Sun P.L., Hawkins W.E., Overstreet R.M., Brown-Peterson N.J. Morphological deformities as biomarkers in fish from contaminated rivers in Taiwan // International journal of environmental research and public health. 2009. Vol. 6, № 8. PP. 2307–2331.
25. Савваитова К.А., Чеботарева Ю.В., Пичугин М.Ю., Максимов С.В. Аномалии в строении рыб как показатели состояния природной среды // Вопросы ихтиологии. 1995. Т. 35, № 2. С. 182–188.
26. Slooff W. Skeletal abnormalities in fish from polluted surface waters // Aquatic toxicology. 1982. Vol. 2, № 3. PP. 157–173.
27. Соколов Л.И. Рыбы в условиях мегаполиса (г. Москва) // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 30–35.
28. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: фундаментальные и прикладные аспекты. М. : Наука, 2009. 400 с.
29. Sfakianakis D.G., Renieri E., Kentouri M., Tsatsakis A.M. Effect of heavy metals on fish larvae deformities : a review // Environmental research. 2015. Vol. 137. PP. 246–255.
30. Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P. Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia // Environmental Pollution. 2001. Vol. 114, № 2. PP. 285–297.
31. Rosseland B.O., Staurnes M. Physiological mechanisms for toxic effects and resistance to acidic water: an ecophysiological and ecotoxicological approach // Acidification of freshwater ecosystems: implications for the future. 1994. Vol. 14. PP. 227–245.
32. Брагинский Л.П., Комаровский Ф.Я., Мережко А.И. Персистентные пестициды в экологии пресных вод. Киев: Наукова думка, 1979. 143 с.
33. Mehrle P.M., Mayer J.F.L. Toxaphene effects on growth and bone composition of fathead minnows, *Pimephales promelas* // Journal of the Fisheries Board of Canada. 1975. Vol. 32, № 5. PP. 593–598.
34. Минеев А.К., Калинин Е.А. Видовой состав и морфологические аномалии молоди рыб из двух малых рек Удмуртской республики // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о земле. 2013. Вып. 1. С. 92–98

Поступила в редакцию 08.06.2017 г.; повторно 18.08.2017 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Яблоков Никита Олегович – м.н.с. Научно-исследовательского института экологии рыбохозяйственных водоемов (Россия, 660049, г. Красноярск, ул. Парижской коммуны, 33).
E-mail: evilapple@mail.ru

For citation: Yablokov NO. Morphological abnormalities in the skeleton of juvenile fish from the Kacha river (Middle Yenisei system) in the gradient of anthropogenic impact. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:156-173. doi: 10.17223/19988591/41/9 In Russian, English Summary

Nikita O. Yablokov

Research Institute of Ecology of Fishery Reservoirs, Krasnoyarsk, Russian Federation

Morphological abnormalities in the skeleton of juvenile fish from the Kacha river (Middle Yenisei system) in the gradient of anthropogenic impact

The predominant part of small rivers of Russia is subject to active technogenic impact. The most critical is manifested in urban and suburban water bodies, taking on a huge number of organic and inorganic pollutants. The striking example of such impact in the Yenisei river basin is the Kacha river (64°00'58"N, 92°53'32"E), the lower course of which is located within the city of Krasnoyarsk and constantly exposed to technogenic pollutants. The intensive technogenic load, as a rule, negatively affects the communities of hydrobionts, including juvenile fish, which have the lowest level of toxic resistance in comparison with adults and are also unable to actively leave areas with high levels of pollution. One of the responses of the fish community to the effect of a complex of unfavorable factors caused by the anthropogenic load on water bodies, including the presence of toxic substances in the ecosystem can be the emergence of various morphological abnormalities. This fact makes it possible to use the indicators of occurrence and diversity of morphological abnormalities as criteria for water quality assessment.

The aim of this research was to evaluate the diversity and the occurrence of skeletal abnormalities in juvenile Siberian gudgeon *Gobio gobio cynocephalus* Dybowski, 1869 and common minnow *Phoxinus phoxinus* (L., 1758) from the Kacha river (Middle Yenisei system). The material for the study was selected in July-August 2016, at four sites of the river differing in the level of technogenic pressure and the spectrum of pollutants (See Fig.1). The list of the main polluting agents, as well as the summary information on the environmental monitoring results at the investigated sites of the river are given in Table 1. In total, 184 Siberian gudgeons and 212 common minnows were examined. The size and age characteristics of the studied individuals are shown in Table 2. Abnormalities were studied in specimens previously cleared of soft tissues and stained with alizarin red according to the Potthoff method with a 40× increase. The examination was carried out in 9 parts of the skeleton, successively (See Table 3). Nomenclature and differentiation of abnormalities in terms of severity are given according to Chebotareva (2009) and Boglione et al (2002). To describe the type and location of the abnormality, a system of symbols was used according to which each part of the skeleton was assigned an alphabetical index; a particular abnormality type got a numerical index (See Table 3). The frequency of abnormal specimens, the total spectrum of abnormalities, the frequency of abnormalities, the relative occurrence of abnormalities, the number of abnormalities in an individual, and the load of severe abnormalities were studied. The incidence of abnormalities and occurrence of abnormal specimens were compared using contingency tables 2×2 with an estimate by Chi-squared test with $p < 0.01$. Confidence intervals for occurrence at different sites were calculated using Wilson method. Differences in the number of abnormalities were investigated by the Kruskal-Wallis test.

In total, 95 abnormalities belonging to 12 types were detected. Among them, 62 abnormalities belonging to 7 types in juvenile gudgeons and 33 abnormalities belonging to 10 types in juvenile minnows were identified (See Tables). Abnormalities were localized predominantly in the abdominal part of the vertebral spine and presented a variety of neural and hemal arch deformation, such as unclosed vertebral arches, fusion of vertebral arches and displacement of arches to adjacent vertebrae. The incidence of

abnormalities varied from 6.5 to 55.7% in juvenile gudgeons and from 8.4 to 75.0% in juvenile minnows. The incidence of abnormal specimens was 4.6-10.4% for gudgeons and 7.4-11.7% for minnows. Proportions of severe abnormalities in juveniles of two species were similar and ranged from 80 to 0% from the upper reaches of the river to the lower. When analyzing the occurrence of abnormalities in the Kacha river, a tendency to increase the frequency of occurrence was witnessed as the anthropogenic load on the watercourse increased. In general, the occurrence of skeletal abnormalities in the Kacha River lower reaches was close to the occurrence of the vertebral spine abnormalities in juvenile fish, previously noted in a few suburban waterways near Krasnoyarsk.

The paper contains 3 Figures, 4 Tables and 34 References.

Key words: fish ontogenesis; morphological abnormalities; technogenic influence; *Phoxinus phoxinus*; *Gobio gobio cynocephalus*.

References

1. Tkachev BP, Bulatov VI. Malye реки: ekologicheskoe sostoyanie i ekologicheskie problemy [Small rivers: state-of-the act and ecological problem]. Analytical Review. Ser. Ecology. Vol. 64. Novosibirsk: State Public Scientific and Technological Library of the SB RAS Publ.; 2002; 114 p. In Russian
2. Selezneva AV. Antropogenic load on rivers by point springs of pollution. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2003;5(2):268-277. In Russian
3. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu» [State report “On the state of the environment and its protection in the Russian Federation in 2015”]. Moscow: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia Publ.; 2016. 639 p. In Russian
4. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2014 godu» [State report “On the state of the environment and its protection in the Russian Federation in 2014”]. Moscow: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia Publ.; 2015. 473 p. In Russian
5. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom krae v 2015 godu» [State report “On the state of the environment and its protection in Krasnoyarsk Krai in 2015”]. Krasnoyarsk: Ministry of Natural Resources and Environment of Krasnoyarsk Krai Publ.; 2016. 314 p. In Russian
6. Moiseyenko TI, Gashev SN, Selyukov AG, Zhigileva ON, Aleshina ON. Biological methods of waters quality estimation: Part 1. Bioindication. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*. 2010;7:20-40. In Russian
7. Popov PA. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodoemov metodami ikhtioindikatsii [Assessment of the ecological state of water bodies by the methods of ichthyoindication]. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ.; 2002. 267 p. In Russian
8. Kashulin NA, Lukin AA, Amundsen PA. Ryby presnykh vod Subarktiki kak bioindikatory tekhnogennoho zagryazneniya [Freshwater fish of the Subarctic as bioindicators of technogenic pollution]. Apatity: Kola Science Centre of the Academy of Sciences of the USSR Publ.; 1999. 142 p. In Russian
9. Evlanov IA, Mineev AK, Rozenberg GS. Otsenka sostoyaniya presnovodnykh ekosistem po morfologicheskim anomaliyam u lichinok ryb [Freshwater ecosystem health assessment according to morphological abnormalities in fish larvae]. Tolyatti: Institute of Ecology of the Volga basin RAS Publ.; 1999. 38 p. In Russian
10. Goskova OA, Melnichenko IP, Bogdanov VD. Morphological anomalies and traumas of peled during spawning migration in the Ural Ob tributaries. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2014;4:7-15. In Russian

11. Pereskokov AV. Sravnenie urovnya aberratsiy u molodi okunya s nakopleniem tyazhelykh metallov v ikre [Comparison of the level of aberrations in juvenile perch with heavy metal accumulation in caviar]. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2004;3:101-105. In Russian
12. Chebotareva YuV. Abnormalities in the backbone structure in roach (*Rutilus rutilus*) (Cyprinidae, Cetriniformes) underyearlings following toxic impacts during early developmental stages. *Journal of Ichthyology*. 2009;49(1):96-104. doi: [10.1134/S0032945209010123](https://doi.org/10.1134/S0032945209010123)
13. Boglione C, Costa C, Giganti M, Cecchetti M, Di Dato P, Scardi M, Cataudella S. Biological monitoring of wild thicklip grey mullet (*Chelon labrosus*), golden grey mullet (*Liza aurata*), thinlip mullet (*Liza ramada*) and flathead mullet (*Mugil cephalus*) (Pisces: Mugilidae) from different Adriatic sites: meristic counts and skeletal abnormalities. *Ecological Indicators*. 2006;6:712-732. doi: [10.1016/j.ecolind.2005.08.032](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.032)
14. Mineev AK. Nonspecific reactions in fish from waters Middle and Lower Volga. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3(7)):2301-2318. In Russian
15. Gold ZG, Glushchenko LA, Morozova II, Shulepina SP, Shadrin IA, Glazkov AE. Kachestvo vody reki Kacha po biologicheskim (perifiton, makrozoobentos, biotestirovanie) i khimicheskim deskriptoram [The Kacha river water quality according to biological (periphyton, macrozoobenthos, biotesting) and chemical descriptors]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosydarstvennogo universiteta*. 2005;5:137-146. In Russian
16. Semenova EM. Donnye soobshchestva v otsenke kachestva vody reki Kacha [Benthic communities in assessing the quality of the Kacha river water]. In: *Ekologiya Yuzhnoy Sibiri i sopredel'nykh territoriy*. Materialy XIV Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy shkoly-konferentsii studentov i molodykh uchenykh [Ecology of Southern Siberia and adjacent territories. Proc. of the XIV Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists]. Anyushina VV, editor. Abakan: Khakassian State University Publ.; 2010, 14(1). pp. 89-90. In Russian
17. Potthoff T. Clearing and staining techniques. Ontogeny and systematics of fishes. Special Publication of American Society of Ichthyology. Moser HG, editor. Lawrence: Allen Press; 1984;1:35-37.
18. Naseka AM. Comparative study on the vertebral column in the Gobioninae (Cyprinidae, Pisces) with special reference to its systematic. *Publicaciones Especiales Instituto Espanol de Oceanografia*. 1996;21:149-167.
19. Bogutskaya NG, Zuykov MA, Naseka AM, Anderson EB. Normal axial skeleton structure in common roach *Rutilus rutilus* (Actinopterygii: Cyprinidae) and malformations due to radiation contamination in the area of the Mayak (Chelyabinsk Province, Russia) nuclear plant. *Journal of Fish Biology*. 2011;79(4):991-1016. doi: [10.1111/j.1095-8649.2011.03078.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03078.x)
20. Boglione C, Gagliardi F, Scardi M, Cataudella S. Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). *Aquaculture*. 2002;192:1-22. doi: [10.1016/S0044-8486\(00\)00446-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00446-4)
21. Borkin LJ, Bezman-Moseyko OS, Litvinchuk SN. Evaluation of animal deformity occurrence in natural populations (an example of amphibians). Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2012;316(4):324-343. In Russian
22. Kirpichnikov VS. Genetika i selektsiya ryb [Genetics and selection of fishes]. Leningrad: Nauka Publ.; 1987. 320 p. In Russian
23. Yablokov NO. Raznoobrazie i vstrechaemost' morfologicheskikh anomalii molodi ryb vodnykh ob'ektov Eniseya i Obi [Diversity and occurrence of morphological abnormalities in juvenile fish from water bodies of the Yenisei and the Ob' rivers]. In: *Bioekologicheskoe kraevedenie: mirovye, rossiyskie i regional'nye problemy*. Materialy II-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Bioecological local

- studies: World, Russian and regional problems. Proc. of the II All-Russian Sci. Conf. with Int. Part.]. Popova YM, editor. Samara: Porto-print Publ.; 2013. pp. 303-310 In Russian
24. Sun PL, Hawkins WE, Overstreet RM, Brown-Peterson NJ. Morphological deformities as biomarkers in fish from contaminated rivers in Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2009;6(8):2307-2331. doi: [10.3390/ijerph6082307](https://doi.org/10.3390/ijerph6082307)
 25. Savvaitova KA, Chebotareva YuV, Pichugin MYu, Maksimov SV. Anomalii v stroenii ryb kak pokazateli sostoyaniya prirodnoy sredy [Abnormalities in fish anatomy as an indicator of the environmental health]. *Journal of Ichthyology*. 1995;35(2):182-188. In Russian
 26. Slooff W. Skeletal abnormalities in fish from polluted surface waters. *Aquatic toxicology*. 1982;2(3):157-173. doi: [10.1016/0166-445X\(82\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0166-445X(82)90013-3)
 27. Sokolov LI. Ryby v usloviyakh megapolisa (g. Moskva) [Fish in a megapolis (Moscow)]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*. 1998;4(5):30-35. In Russian
 28. Moiseenko TI. Vodnaya toksikologiya: fundamental'nye i prikladnye aspekty [Water toxicology: Fundamental and applied aspects]. Moscow: Nauka Publ.; 2009. 400 p. In Russian
 29. Sfakianakis DG, Renieri E, Kentouri M, Tsatsakis AM. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environmental Research*. 2015;137:246-255. doi: [10.1016/j.envres.2014.12.014](https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.014)
 30. Moiseenko TI, Kudryavtseva LP. Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia. *Environmental Pollution*. 2001;114(2):285-297. doi: [10.1016/S0269-7491\(00\)00197-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00197-4)
 31. Rosseland BO, Staurnes M. Physiological mechanisms for toxic effects and resistance to acidic water: An ecophysiological and ecotoxicological approach. In: *Acidification of Freshwater Ecosystems: Implications for the Future*. Steinberg CEW, Wright RF, editors. Chichester: John Wiley & Sons; 1994;14:227-245.
 32. Braginskiy LP, Komarovskiy FYa, Merezko AI. Persistentnye pestitsidy v ekologii presnykh vod [Persistent pesticides in freshwater ecology]. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1979. 143 p. In Russian
 33. Mehrle PM, Mayer JFL. Toxaphene effects on growth and bone composition of fathead minnows, *Pimephales promelas*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 1975;32(5):593-598. doi: [10.1139/f75-076](https://doi.org/10.1139/f75-076)
 34. Mineev AK, Kalinin EA. Species composition and morphological anomalies of young fish from two small rivers of the Udmurtian Republic. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2013;6(1):92-98. In Russian

*Received 06 June 2017; Revised 18 August 2017;
Accepted 17 January 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Yablokov Nikita O, Junior Researcher, Research Institute of Ecology of Fishery Reservoirs, 33 Parizhskoy Komunny Str., Krasnoyarsk 660049, Russian Federation.

E-mail: evilapple@mail.ru

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 598.288.5:591.522(571.56-14)

doi: 10.17223/19988591/41/10

А.Г. Ларионов¹, Л.Г. Варгапетов², Н.Н. Егоров¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

²Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Новые данные по распространению краснозобого дрозда (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) на северо-восточном пределе ареала

Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН на 2017–2020 гг. по теме АААА–17–117020110058–4 «Структура и динамика популяций и сообществ животных холодного региона Северо-Востока России в современных условиях глобального изменения климата и антропогенной трансформации северных экосистем: факторы, механизмы, адаптации, сохранение».

Экспедиционные исследования, проведенные в июне 2012 г., поддержаны проектом РФФИ № 10–04–00149а «Формирование сообществ и адаптации популяций птиц в криолитозоне Сибири» 2010–2012 гг. (руководитель проекта Л.Г. Варгапетов).

*Представлены новые данные о распространении краснозобого дрозда (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) в Якутии, где в настоящее время проходит северо-восточная граница ареала этого вида. Материал был собран 2009–2012 гг. в Западной Якутии. В настоящее время краснозобый дрозд частично заселил юго-западную и южную части Республики Саха (Якутия). Вероятно, его расселение здесь происходило с запада на восток. Скорее всего, такое расселение не завершилось и продолжается в настоящее время. Приведены сведения о плотности населения и биологии краснозобого дрозда в районе исследований.*

Ключевые слова: *Turdus ruficollis*; биология; западная и южная Якутия; расселение; плотность населения.

В сообщении представлены новые данные о распространении и биологии краснозобого дрозда (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) в Якутии, где в настоящее время проходит северо-восточная граница ареала этого вида. Данные о плотности населения краснозобого дрозда, приведенные в статье, получены во время проведения учетов птиц маршрутным методом [1]. Учеты проведены в летний период 2009–2012 гг. в Западной Якутии.

Краснозобый дрозд в недавнем прошлом в отечественной литературе считался подвидом темнозобого дрозда – *Turdus ruficollis ruficollis* Pall. [2, 3]. В настоящее время это отдельный сибирско-центральноазиатский вид, который в пределах России имеет «центральносибирский ареал» [4–7].

До начала 70-х гг. XX в. на территории Республики Саха (Якутия) этот вид не отмечался [8, 9]. Впервые краснозобый дрозд обнаружен здесь в 1974 г. в окрестностях г. Олекминска (13 июля поймана взрослая самка с наседным пятном на стадии васкуляризации) [10, 11]. В вышеприведенных публикациях видовая принадлежность самки дрозда, добытой в Якутии, указывается как темнозобый дрозд – *Turdus ruficollis* Pall. [10, 11]. В дальнейшем, после разделения этого вида на два самостоятельных (Краснозобый дрозд – *Turdus ruficollis* Pall. и Чернозобый дрозд – *Turdus atrogularis* Jarocki [4, 6]), в упоминании видовой принадлежности данной находки имеются разночтения. В ряде публикаций самка дрозда, добытая в окрестностях г. Олекминска, указывается как краснозобый дрозд [12, 13]. Однако в сводках Л.С. Степаняна [4, 5] упоминается распространение до низовий р. Олекма чернозобого дрозда, о находках здесь краснозобого дрозда не сообщается. Вероятно, в этом случае также имеется в виду обнаруженная в окрестностях г. Олекминска самка темнозобого дрозда [10, 11].

Впервые на территории Республики Саха (Якутия) достоверно гнездование краснозобого дрозда отмечено в 2002 г. А.П. Исаевым [14] в среднем течении р. Милюк (юго-западная Якутия). К настоящему времени накоплены новые сведения о распространении здесь этого вида.

В 2009 г. краснозобый дрозд в качестве обычного вида обнаружен нами в западной части Приленского плато (рис. 1) во время проведения учетов птиц. В среднем течении р. Джербы (во второй декаде июля) плотность населения краснозобого дрозда на зарастающей гари лиственнично-соснового леса составила 18 особей/км², в остальных лесных местообитаниях – 5 особей/км². Здесь 10–13 июля 2009 г. отмечены выводки с неуверенно летающими молодыми птицами. Также 16–17 июля 2009 г. 2 особи краснозобого дрозда встречены нами в верхнем течении р. Чаянды [15].

13 августа 2010 г. кочующая стайка дроздов этого вида зарегистрирована во время проведения учетов птиц в окрестностях г. Мирный. На следующий год (в первой декаде июля 2011 г.) здесь отмечены 2 пары этого вида (см. рис. 1), проявляющие гнездовое поведение [16]. Численность этих дроздов составляла в окрестностях г. Мирного в конце первой декады июля 2011 г. 2–3 особи/км². Кроме этого, в конце июля 2011 г. краснозобые дрозды встречены нами во время проведения учетных работ в районе устья р. Пильки (правый приток р. Лены).

В 2012 г. во время маршрутных учетов птиц в западной части Лено-Вилюйского междуречья по автодорожке Ленск–Удачный краснозобый дрозд в качестве гнездящегося вида обнаружен в окрестностях пос. Чамча (среднее течение р. Нью). Здесь в лесных местообитаниях по склонам долины р. Нью (левый приток р. Лены) его численность в середине июня составила порядка 9 особей/км². В смешанном сосново-лиственничном лесу 14 июня 2012 г. найдено гнездо краснозобого дрозда. Постройка располагалась на сломанной сосне на высоте 3,5 м. В момент обнаружения самка находилась в гнезде. К сожалению, добраться до гнезда не удалось.

Во время проведения учетных работ 24 июня 2012 г. краснозобый дрозд также не представлял редкости (около 4 особей/км²) в лиственничных лесах с примесью сосны на склоне долины правого берега р. Вилкой (Светлинское водохранилище). Здесь в 8 м от гравийной дороги по правому берегу Светлинского водохранилища (среднее течение р. Вилкой) 24 июня 2012 г. найдено его гнездо. Постройка размещалась на комле упавшей лиственницы на высоте 80 см над землей и имела следующие размеры: диаметр гнезда 16 см, диаметр лотка 10,9, высота гнезда 12,8, глубина лотка 6,8 см. Материал гнезда: стебли злаков, хвощ, в основании ивовые прутьики, тонкие лиственничные веточки, скрепленные глиной. В момент находки самка насиживала 5 яиц. Размеры яиц: 27,1×19,8 мм; 27,0×19,8; 27,8×19,8; 27,4×20,0; 28,1×19,5 мм. На яйцах начали образовываться трещины – начало процесса выклева птенцов (вылупление, вероятно, закончилось 25 июня 2012 г.).

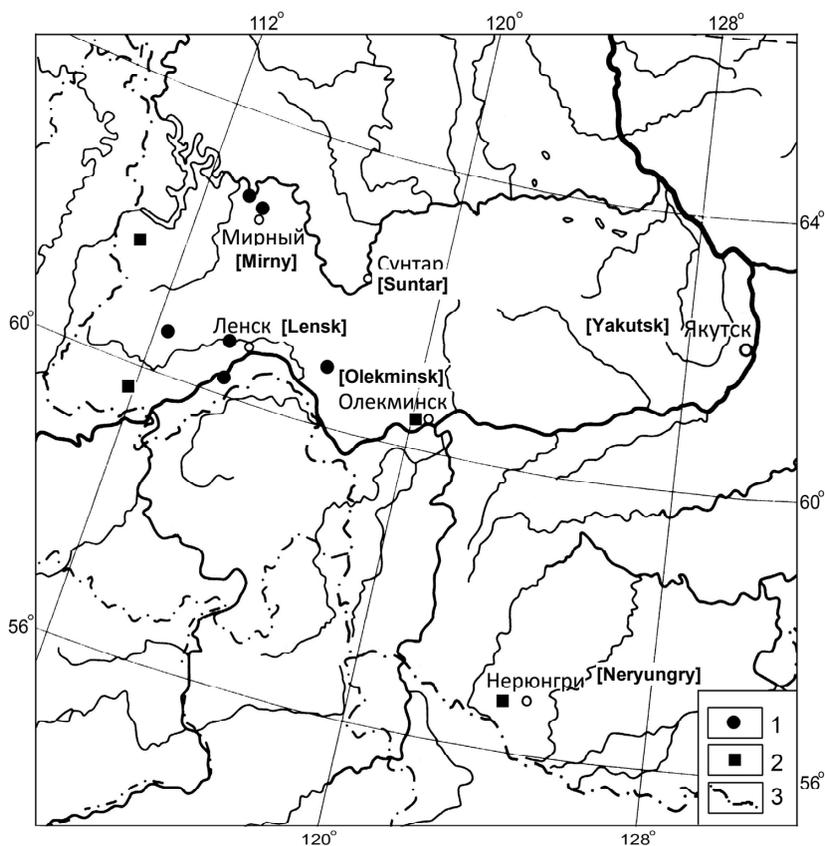


Рис. 1. Современное распространение краснозобого дрозда в Республике Саха (Якутия)
Условные обозначения: 1 – места встреч краснозобого дрозда, наши данные; 2 – места встреч краснозобого дрозда, литературные данные; 3 – административные границы
[Fig. 1. Current distribution of the *Turdus ruficollis* Pallas in the Sakha Republic (Yakutia)

Symbols: 1 - Places of encountering the Red-throated thrush. Our data; 2 - Places of encountering the Red-throated thrush. Literature data. 3 - Administrative borders]

Следует также отметить, что 5, 6 и 8 сентября 2016 г. А.А. Емцев [17] зарегистрировал краснозобого дрозда группами до 5 особей в юго-западной Якутии в районе Талаканского нефтегазоконденсатного месторождения (см. рис. 1).

В последние годы краснозобый дрозд также отмечался в горах южной Якутии (см. рис. 1) на Алданском нагорье [18] и в районе восточных отрогов хребта Зверева, где 29 июня 2015 г. встречен самец с выводком плохо летающих слетков [19].

Заключение

Краснозобый дрозд до начала XXI в. на территории Якутии на гнездовье не отмечался. В настоящее время этот вид частично заселил юго-западную и южную части Республики Саха (Якутия), но встречается спорадично. Вероятно, расселение краснозобого дрозда здесь происходило с запада на восток, поскольку впервые гнездование этой птицы отмечено А.П. Исаевым в 2002 г. на р. Милюк, а все остальные точки, где отмечался этот вид позднее на территории Якутии, расположены восточнее. Скорее всего, такое расселение не завершилось и продолжается в настоящее время.

Литература

1. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.
2. Иванов А.И. Каталог птиц СССР. Л. : Наука, 1976. 276 с.
3. Рогачева Э.В. Птицы Средней Сибири. М. : Наука, 1988. 309 с.
4. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны СССР. М. : Наука, 1990. 728 с.
5. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М. : Академкнига, 2003. 808 с.
6. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. 256 с.
7. Рогачева Э.В., Сыроечковский Е.Е., Черников О.А. Птицы Эвенкии и сопредельных территорий. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2008. 754 с.
8. Воробьев К.А. Птицы Якутии. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 336 с.
9. Андреев Б.Н. Птицы Вилюйского бассейна. Якутск : Книжное изд-во, 1987. 192 с.
10. Гагинская А.Р., Кисляков Н.М., Крылова А.С., Носков Г.А., Соловьева Н.В. Новые данные по авифауне Якутии // VII Всесоюзная орнитологическая конференция. Киев : Наукова думка, 1977. С. 46–47.
11. Носков Г.А., Гагинская А.Р. Новые данные о птицах южной Якутии // Орнитология. 1977. Вып. 13. С. 190–191.
12. Лабутин Ю.В., Гермогенов Н.И. Птицы Якутии: современные данные по составу и распространению: препринт. Якутск : ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 40 с.
13. Красная книга Республики Саха (Якутия). Якутск, 2003. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных (насекомые, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие) / ред. В.Г. Алексеев. 208 с.
14. Исаев А.П., Егорова А.А., Софронов Р.Р., Величенко В.В., Попова Л.В., Яковлев Ф.Г., Винокуров Н.Н., Вольперт Я.Л. Растительный и животный мир резервата «Чонский» // Наука и образование. 2005. № 2 (38). С. 53–59.

15. Ларионов А.Г. Летнее население птиц западной части Приленского плато // Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций: труды ИСиЭЖ СО РАН / отв. ред. Л.Г. Вартапетов. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 133–144.
16. Ларионов А.Г. Летнее население птиц г. Мирный его окрестностей // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 2. С. 107–111.
17. Емцев А.А. Интересные встречи птиц в окрестностях аэропорта Талакан (юго-западная Якутия) // Фауна Урала и Сибири. 2017. № 2. С. 92–94.
18. Вартапетов Л.Г., Исаев А.П., Ларионов А.Г., Егоров Н.Н. Классификация населения птиц Алданского нагорья // Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций: труды ИСиЭЖ СО РАН / отв. ред. Л.Г. Вартапетов. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 145–152.
19. Шемякин Е.В., Ларионов А.Г., Егоров Н.Н., Секов А.Н., Исаев А.П. Характеристика и вертикальное распределение птиц в горных районах юга среднетаежной зоны // Научная жизнь. 2016. № 2. С. 220–227.

*Поступила в редакцию 17.11.2017 г.; повторно 24.01.2018 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.*

Авторский коллектив:

Ларионов Анатолий Геннадьевич – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории зоологических исследований Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41).

Е-mail: nsp11@mail.ru

Вартапетов Лев Гургенович – д-р биол. наук, зам. директора по научной работе Института систематики и экологии животных СО РАН (Россия, 930091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11).

Е-mail: lev@eco.nsc.ru

Егоров Николай Николаевич – н.с. лаборатории зоологических исследований Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41).

Е-mail: epusilla@mail.ru

Forcitation: Larionov AG, Vartapetov LG, Egorov NN. New data on the distribution of the Red-throated thrush (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) in the northeastern border of its range. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:174-181. doi: 10.17223/19988591/41/10 In Russian, English Summary

Anatoly G. Larionov¹, Lev G. Vartapetov², Nikolay N. Egorov¹

¹ *Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

² *Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

New data on the distribution of the Red-throated thrush (*Turdus ruficollis* Pallas, 1776) in the northeastern border of its range

The report presents new data on the distribution and biology of the Red-throated thrush *Turdus ruficollis* Pallas, 1776 in Western Yakutia, where now lies the northeastern boundary of the species range. This species was not observed within the Sakha Republic (Yakutia) territory until the early 70-ies of the twentieth century. The first Red-throated thrush in Yakutia was discovered in 1974 near the town of Olekminsk (an adult female was caught on 13 Jul with a breeding spot at the vascularization stage). For the first time, breeding of the Red-throated thrush in the Sakha Republic (Yakutia) territory

was confirmed by AP Isaev in 2002, in the middle reaches of the Milyuk River (South-Western Yakutia). To date, new data on this species distribution have been accumulated.

We obtained information on the density of *Turdus ruficollis* Pallas population during bird counting according to the method of YS Ravkin (Ravkin, Livanov, 2008) in the summer of 2009-2012 in Western Yakutia (Fig. 1). On the registration route, all encountered birds were recorded. We identified their species, the number of individuals and approximate distance from the recorder to the recorded birds, and estimated the length of the route in kilometers. The population density of birds (N) of each species in individuals per 1 square kilometer of the area was determined according to the formula: $N \text{ of the species} = ((n1 \times 40) + (n2 \times 10) + (n3 \times 3) + n4)/L$, where $n1-n4$ - number of individuals encountered in the detection bands, respectively, 0-25 meters (close), 25-100 (not far), 100-300 (far) and 300-1000 meters (very far); 40, 10, 3 and 1 - conversion factors; L - the length of the registration route in kilometers.

In 2009, we discovered the Red-throated thrush in the Western part of the Lena plateau during bird counts in the Djerba River middle reaches (the left tributary of the Lena River). Broods with insecurely flying juvenile birds were noted in this area, from 10 to 13 Jul, 2009. Also, we encountered 2 Red-throated thrushes in the Chayanda River upper reaches from 16 to 17 Jul, 2009. A nomadic flock of these birds was seen on 13 August, 2010, in the vicinity of Mirny. Two Red-throated thrush pairs showing breeding behavior were sighted at the same site in 2011 (the first decade of July). We observed birds of this species near the Pilka River mouth (the right tributary of the Lena River) in late July, 2011. The Red-throated thrush as a breeding species was found in Chamcha village suburbs (the middle Nuya River) during routing bird counts in the western part of the Lena-Vilyui interfluvium on the highway Lensk-Udachny. The population amounted to approximately 9 individuals/km² on the forest slopes of the river valley (the Lena left tributary) in mid-June. The Red-throated thrush nest was found in a mixed pine-larch forest on 14 June, 2012. Red-throated thrushes were not rare birds (about 4 individuals/km²) during the counts on 24 June, 2012 in larch forests with admixture of pine trees on the valley slope of the Vilyui river right bank (the Svetlinskoye Reservoir), where its nest was found 8 m from the gravel road on the right bank of the Reservoir (the middle Vilyui River) on 24 June, 2012. By the moment of finding, the female had been incubating 5 eggs. In recent years, the Red-throated thrush has been also noted in the mountains of southern Yakutia, the Aldan plateau and on the Eastern spurs of the Zverev Ridge, where the male with a brood of insecurely flying juveniles were sighted on 29 June, 2015.

The Red-throated thrush was not reported as a breeding bird before the early twenty-first century in the territory of Yakutia. Currently, this species partially inhabits the southwestern and southern part of the Sakha Republic (Yakutia), but birds are encountered sporadically. Apparently, the dispersal of the Red-throated thrush occurred from West to East. Most likely, this distribution process has not finished yet and is continuing.

The paper contains 1 Figure and 19 References.

Key words: *Turdus ruficollis*; biology; Western and Southern Yakutia; dispersal; density of communities.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of IBPK SB RAS for 2017-2020 on the topic AAAA-17-117020110058-4 "Structure and dynamics of populations and communities of animals in the cold region of the North-East of Russia in the current climate of global climate change and anthropogenic transformation of northern ecosystems: factors, mechanisms, adaptations and conservation". The study was financed by the RFBR project No 10-04-00149a "Formation of communities and adaptations of bird populations in the Siberian cryolithozone" 2010-2012.

References

1. Ravkin YuS, Livanov SG. Faktornaya zoogeografiya: printsipy, metody i teoreticheskie predstavleniya [Factor zoogeography: principles, methods and theoretical generalizations]. Vartapetov LG, editor. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2008. 205 p. In Russian
2. Ivanov AI. Katalog ptits SSSR [Catalogue of birds of the USSR]. Leningrad: Nauka Publ.; 1976. 276 p. In Russian
3. Rogacheva EV. Ptitsy Sredney Sibiri [The birds of Central Siberia]. Moscow: Nauka Publ.; 1988. 309 p. In Russian
4. Stepanyan LS. Konspekt ornitologicheskoy fauny SSSR [Summary of the avifauna of the USSR]. Moscow: Nauka Publ.; 1990. 728 p. In Russian
5. Stepanyan LS. Konspekt ornitologicheskoy fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy (v granitsakh SSSR kak istoricheskoy oblasti) [Conspectus of the ornithological fauna of Russia and adjacent territories (within the borders of the USSR as a historic region)]. Moscow: Akademkniga Publ.; 2003. 808 p. In Russian
6. Koblik EA, Red'kin YaA, Arkhipov VYu. Spisok ptits Rossiyskoy Federatsii [Checklist of birds of the Russian Federation]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. Publ.; 2006. 256 p. In Russian
7. Rogacheva EV, Syroechkovski EE, Chernikov OA. Ptitsy Evenkii i sopredel'nykh territoriy [Bird of Evenkia and adjacent territories]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd Publ.; 2008. 754 p. In Russian
8. Vorobyev KA. Ptitsy Yakutii [The birds of Yakutia]. Moscow: AN SSSR Publ.; 1963. 336 p. In Russian
9. Andreev BN. Ptitsy Vilyuyskogo basseyna [The birds of the Vilyuy River basin]. Yakutsk: Yakutsk Publ.; 1987. 192 p. In Russian
10. Gaginskaya AR, Kislyakov NM, Krylova AS, Noskov GA., Solov'eva NV. Novye dannye po avifaune Yakutii [New data on the avifauna of Yakutia]. VII Vsesoyuznaya ornitologicheskaya konferentsiya [VII All-Union Ornithological Conf. Proceedings. (Cherkassy, Kiev, 27-30 september 1977)]. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1977. pp. 46-47. In Russian
11. Noskov GA, Gaginskaya AR. Novye dannye o ptitsakh yuzhnoy Yakutii [New data of the birds south Yakutia]. *Ornitologiya*. 1977;13:190-191. In Russian
12. Labutin YuV, Germogenov NI. Ptitsy Yakutii: sovremennye dannye po sostavu i rasprostraneniyu [Birds of Yakutia: current data on composition and distribution]. Preprint. Yakutsk. 1990. 40 p. In Russian
13. *Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya)*. T. 2: Redkie i nahodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnyh (nasekomye, ryby, zemnovodnye, presmykayushchiesya, ptitsy, mlekopitayushchie) [The Red Data Book of the Saha Republic (Yakutia). Vol. 2: Rare and endangered animal species (insects, fishes, amphibians, reptiles, birds, mammals)]. Alekseev VG, editor. Yakutsk: GUP NIPK "Sakhapoligrafizdat" Publ.; 2003. 208 p. In Russian
14. Isaev AP, Egorova AA, Sofronov RR, Velichenko VV, Popova LV, Yakovlev FG, Vinokurov NN, Vol'pert YaL. Rastitel'nyy i zhivotnyy mir rezervata "Chonskiy" [The flora and fauna of the Chonsky reserve]. *Nauka i obrazovanie*. 2005;2(38):53-59. In Russian
15. Larionov AG. Summer bird communities in the western part of Prilenskoye Plateau. In: *Birds of Siberia: Fauna, communities and populations structure and dynamics*. Vartapetov LG, editor. *Proceedings of the Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS*. Vol. 47. Moscow: KMK Scientific Press Ltd Publ.; 2011. pp. 133-144. In Russian
16. Larionov AG. Summer bird population of Mirny town and its vicinity. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2013;2:107-111. In Russian

17. Emtsev AA. Interesting bird findings around the Talakan airport (the southwestern part of Yakutia). *Fauna of the Urals and Siberia*. 2017;2:92-94. In Russian
18. Vartapetov LG, Isaev AP, Larionov AG, Egorov NN. Classification of bird communities of Aldan upland region. In: *Birds of Siberia: Fauna, communities and populations structure and dynamics*. Vartapetov LG, editor. *Proceedings of the Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS*. Vol. 47. Moscow: KMK Scientific Press Ltd Publ.; 2011. pp. 145-152. In Russian
19. Shemyakin EV, Larionov AG, Egorov NN, Sekov AN, Isaev AP. Characteristics of summer population and vertical distribution of birds in the mountainous areas of the Southern middle taiga zone]. *Scientific Life*. 2016;2:220-227. In Russian

*Received 17 November 2017; Revised 24 January 2018;
Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Larionov Anatoly G, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Zoological Observations, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 41 Lenina Pr., Yakutsk 677980, Russian Federation.

E-mail: nsp11@mail.ru

Vartapetov Lev G, Dr. Sci. (Biol.), Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 11 Frunze Str., Novosibirsk 930091, Russian Federation.

E-mail: lev@eco.nsc.ru

Egorov Nikolay N, Researcher, Laboratory of Zoological Research, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 41 Lenina Pr., Yakutsk 677980, Russian Federation.

E-mail: epusilla@mail.ru

UDC 581.95

doi: 10.17223/19988591/41/11

Natalia V Shchegoleva

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

New distribution data on Altai endemic *Ranunculus schischkinii* in floras of Russia and Kazakhstan

*As a result of revision of herbarium specimens of buttercups and data analysis of collected samples and field observations, the new data on distribution of the endemic plant of Altai *Ranunculus schischkinii* (Ranunculaceae Juss.) have been revealed. From the positions of the administrative boundaries, *R. schischkinii*, previously known from several habitats only within the Russian sector of the Altai Mountains, is now a new species for the flora of Kazakhstan. Information on all known locations of this species is given for the first time. Specific features of the environmental confinement of the species, original herbarium voucher labels indicating a place of storage, including new data, as well as the taxonomic position of the species and a reference to its original description are provided.*

The paper contains 3 Figures and 18 References.

Keywords: *Ranunculus*; Ranunculaceae; space distribution; endemic; Altai; Kazakhstan; taxonomy.

Introduction

Ranunculus schischkinii Revushkin (Ranunculaceae Juss.) - Shishkin's Meadow buttercup (Fig. 1) is an endemic species, known only from few locations in humid highlands of the Altai Mountains, which grows exclusively on overly moistened nival meadows, in mossy and grassy tundra (Fig. 2). This is the only species within the Altai Mountain Country, confined to the alpine belt in its altitudinal distribution within the *Acras* Prantl subsection of the genus *Ranunculus* L., which includes predominantly forest species. On the list of endemic plants of the Altai [1], published on a full scale for the first time in 2008 within the framework of the Darwin Initiative's project "Cross-border conservation strategies in the Altai Mountains (Russia, Mongolia, Kazakhstan)", the species is listed as *Vulnerable* in the neo-endemic category only for Shebalinskiy and Ongudai districts of the Altai Republic, Russia.

Morphologically and ecologically, *R. schischkinii* is well separated from the widely distributed related mountain forest mesophytes such as *R. propinquus* C.A. Meyer and *R. grandifolius* C.A. Meyer. Studies of the karyotype in original description of *R. schischkinii* [2] revealed its diploidy ($2n = 14$), as well as significant morphological differences of chromosomes of this species compared

with *R. propinquus*. According to karyotaxonomy specialists, the feature of but-tercups is the stability of morphology and the number of chromosomes [3]. The data summarizing the results of phylogeny and biogeography studies of the genus *Ranunculus* as a large cosmopolitan taxon confirm not only the hypothesis of congruence of karyotypes to the main clades of *Ranunculus* [4], but also a high probability of regional adaptive diversification of species [5], which is more clearly manifested in mountainous regions, and testify to the autochthonous origin of *R. schischkinii*.



Fig. 1. *Ranunculus schischkinii* Revushkin. Mt. Sarlyk, Seminskiy mountain range, Altai Mountain Country (Photo is made by AI Pyak, 05.07.2005)



Fig. 2. Typical habitat of *Ranunculus schischkinii* Revushkin
(Photo is made by AI Pyak, the same date and location)

Materials and methods of research

The study was based on the revision of the main herbarium collections (LE, MW, NK, NS, NSK, KUZ, KG, AA), the analysis of field survey data and published information [13, 14], collected samples in the territories of selected regions of Siberia, Kazakhstan and Mongolia during 2003-2017 [6-12]. The results of Cross-Classified Association Analysis of ecological data for the genus *Ranunculus* L. in the Altai-Sayan phytochorion [15] were used in order to reveal the degree and statistical importance of conjugation (non-random distribution) of ecological groups. Species were grouped in relation to the environmental factors most important for buttercups - soil moisture, thermal regime, salinization of habitats and the mechanical composition of the substrate. Also, the confinement to a certain type of ecotopes and certain morpho-physiological properties of species were taken into account.

Results of the research and discussion

The results of revision of herbarium materials and analysis of data on the collections and field observations in the Altai territory made it possible to discover new locations of *Ranunculus schischkinii*. Earlier the studied species was known only from few points on the territory of the Altai within the Russian Federation.

New findings allowed to define this plant as a new species for the flora of Kazakhstan.

The application of the conjugate ecological analysis by abovementioned factors in the study of the genus *Ranunculus* [15] helps to determine the ecological and biomorphological features of *R. schischkinii*. The results of the distribution of typological (ecological) groups, the degree and statistical significance of their association have shown that *R. schischkinii*, unlike the closely related typical forest and mountain forest species, is a hekistothermic hydromesophyte of the mesomorphic structure, namely, psychrophyte. This is a group of alpine plants that live in the nival belt, often in places with snow accumulation, developing in conditions of excessive cold moisture supply, especially in the first half of the growing season. The habitats of *R. schischkinii* are well drained, with high cooled supersurface layer of air due to thawed, subflow cold waters or nearby snowfields, waterlogged in the first half of the growing season, and dry in the second.

A comprehensive analysis of the genus *Ranunculus* in selected regions of Siberia and Kazakhstan lead to identification of ecological and geographical characteristics of both individual species and closely related groups [9, 10, 12, 15]. For some species, their position in the system of the genus has been determined [8, 16]. Comparison of the obtained results with molecular phylogeny and karyology data [5, 17] was a basis for a critical review of the taxonomic position of *R. schischkinii* and the close species, common in Southern Siberia and Kazakhstan:

Genus *Ranunculus* L.

Subgenus *Ranunculus*

Typus: *R. acris* L.

Sectio *Ranunculus*

Typus: *R. acris* L.

R. acris L.

R. grandifolius C.A. Meyer

R. karkaralensis Schegol.

R. propinquus C.A. Meyer

R. schischkinii Revushkin

R. smirnovii Ovcz.

R. subborealis Tzvel.

R. tajgaensis Timochina

R. schischkinii Revushkin 1992, Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University, 89: 16. - Shishkin's Meadow buttercup. Described from the Altai. According to the protologue: «Typus: Altai, jugum Seminski, mons Sarlyk, partum alpinum. 5 VII 1983. A. Revushkin, S. Vydrina, N. Gordeeva, V. Maltzev» (TK!). The holotype is lost due to damage by pests.

Lectotypus et isotypus: «Altai. Vicinities of settl. Shebalino. Mt. Kurata, alpine stony tundra. 6 VII 1927. B. Shishkin» (TK!) [18].

Paratypus: «Altai. Vicinities of settl. Shebalino. Upper reaches of the Kumalir river, alpine meadow. 7 VII 1927. B. Shishkin» (TK!).

Habitats: alpine meadows, high-mountain tundra.

Distribution: the Seminskiy ridge (Mt. Kurata in upper reaches of the Kumalir river, Mt. Sarlyk), the Holzun ridge (upper reaches of the Bannaya river), the Narymskiy ridge (valley of the Burlybai river). Endemic. $2n = 14$ [2].

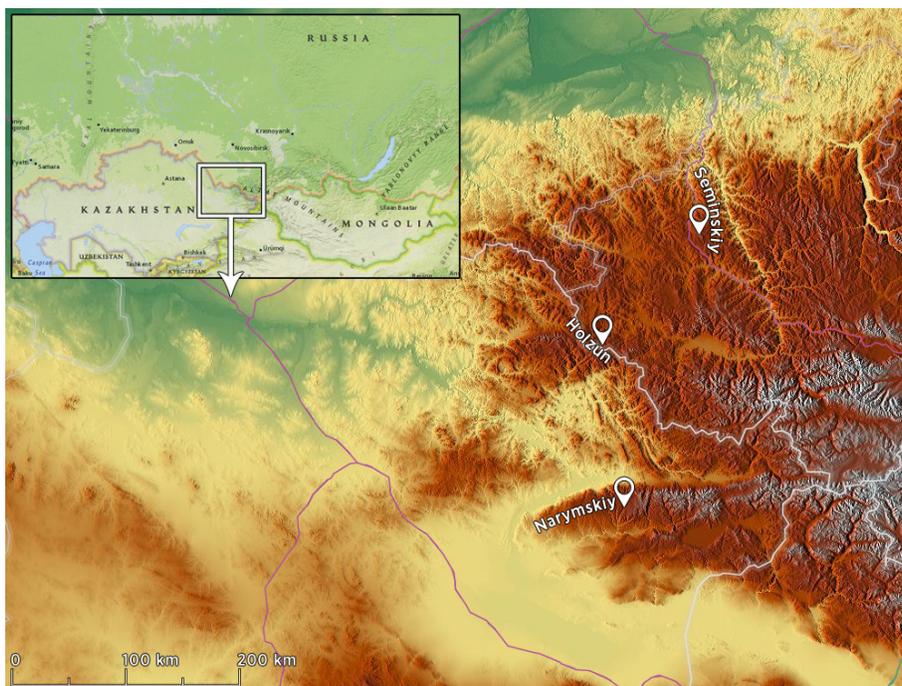


Fig. 3. The main known locations of *Ranunculus schischkinii* Revushkin

The following specimens have been examined:

«Vicinities of settl. Shebalino. Mt. Kurata, alpine stony tundra. 6 VII 1927. B. Shishkin» (TK!);

«Altai, vicinities of settl. Shebalino, upper reaches of the Kumalir river, alpine meadow. 7 VII 1927. B. Shishkin» (TK!);

«Gorno-Altai autonomous oblast, Ust-Koksinskiy distr., upper reaches of the Bannaya river, the Holzun ridge, high-mountain tundra. 06.07.1953. A. Kuminova» (NS!);

«Altai, the Seminskiy ridge, Mt. Sarlyk, alpine meadow. 5 VIII 1983. A. Revushkin, S. Vydrina, N. Gordeeva, V. Maltsev»;

«Altai, the Seminskiy ridge, Mt. Sarlyk, 57°03'N 85°50'E. Alpine lawn. 2.08.1984. M. Lomonosova» (NS!);

«Central Altai, the Holzun ridge, sources of the Bannaya river. In subalpine belt, on nival meadow. 7.08.1984. L. Malyshev» (NS!);

«Gorno-Altai autonomous oblast. Ongudayskiy distr., Mt. Sarlyk, nival meadow. 10-13.07.1986. A.S. Revushkin, S.N. Vydrina, A.V. Rakitin, N.M. Sergeeva, S.A. Przeworskaya, S.A. Pulkina» (TK!);

«East-Kazakhstan oblast, the Narymskiy ridge, valley of the Burlybai river, meadows with shrubs. 19.07.1986. Budulaeva, Utebekov» (AA!);

«Gorno-Altai oblast, sources of the Sarlyk river, alpine meadow. 21.07.1988. Alexander Revushkin» (TK!);

«Altai Republic. Shebalinskiy distr. The Seminskiy ridge, Mt. Sarlyk, along watercourse. 05.07.2005. Pyak A.I.» (TK!).

At present, it can be stated that all the known localities of *R. schischkinii* are found within the boundaries of the Altai Mountain Country on the Seminskiy, Holzun and Narymskiy ranges (Fig. 3).

Conclusion

Information about the localities of *R. schischkinii* on the Holzun and Narymskiy ridges have been published for the first time. According to administrative borders, the localities of *R. schischkinii* are currently known in two main locations (Seminskiy ridge, Holzun ridge) on the territory of the Altai Republic (Russia) and from one point (Narymskiy ridge) in East-Kazakhstan oblast (Kazakhstan). Thus, *R. schischkinii* is a subendemic species for both Russia and Kazakhstan. The distribution of this species is more extensive than previously studied, but not significantly. Therefore, strict ecological and high-altitude confinement of *R. schischkinii* is useful for predicting its subsequent locations. However, it is obvious that available information on known localities of this buttercup is not enough for robust modeling of distribution prediction maps using such algorithms as GARP or Maxent, and, probably, the expert evaluation is more optimal.

The author thanks the administration of the Institute of Botany and Phyto-Introduction (Almaty, Kazakhstan Republic) for the cooperation. Special thanks to leading scientist Mikhail P. Danilov, Cand. Sci. (Biol.) (Higher Plants Flora Laboratory, Institute of Botany and Phyto-Introduction (Almaty, Kazakhstan Republic) for the opportunity to work with herbarium collections, and Prof. Andrei A. Pyak, Dr. Sci. (Biol.) (Department of Botany, Tomsk State University, Tomsk, Russia) for the provided photos.

References

1. Pyak AI, Shaw SC, Ebel AL, Zverev AA, Hodgson JG, Wheeler BD, Gaston KJ, Morenko MO, Revushkin AS, Kotukhov YuA, Oyunchimeg D. Endemic plants of the Altai Mountain Country. Old Basing: WILDGuides; 2008. 368 p.
2. Revushkin AS, Pulkina SV. A new species of buttercup of high mountains of Altai. *Sistemicheskie zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo*

- gosudarstvennogo universiteta = *Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 1992;89:16-19. In Russian
3. Zhuravleva EA, Malakhova LA. Kariologicheskiy analiz vidov *Ranunculus* [Kariological analysis of *Ranunculus* species]. *Tsitologiya = Cytology*. 1983;25(1):83-90. In Russian
 4. Baltisberger M, Hörandl E. Karyotype evolution supports the molecular phylogeny in the genus *Ranunculus* (Ranunculaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2016;18:1-14. doi: [10.1016/j.ppees.2015.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2015.11.001)
 5. Emadzade K, Gehrke B, Linder HP, Hörandl E. The biogeographical history of the cosmopolitan genus *Ranunculus* L. (Ranunculaceae) in the temperate to meridional zones. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2011;58(1):4-21. doi: [10.1016/j.ympev.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.11.002)
 6. Schegoleva NV. A new species of the genus *Ranunculus* L. from the NorthWestern Mongolia. *Sistematische zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2006;96:12-14. In Russian
 7. Pyak AI, Schegoleva NV. *Sistematische zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2006;96:10-12. In Russian
 8. Schegoleva NV. To the taxonomy of Central-Asian representatives of the genus *Ranunculus* L. (Ranunculaceae). *Sistematische zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2007;98:16-19. In Russian
 9. Schegoleva NV. Rezul'taty ekologo-geograficheskogo analiza roda *Ranunculus* L. Altae-Sayanskoy floristicheskoy provintsii [Results of the ecological-geographical analysis of the genus *Ranunculus* L. of the Altai-Sayan floristic province]. In: *Problemy izucheniya rastitel'nogo pokrova Sibiri*. Mat. IV mezhd. konf. [Problems of investigation of vegetation of Siberia. Proc. of the 4th Int. Conf. (Tomsk, Russia, 1-3 November 2010)]. Tomsk: Tomsk University Press; 2010. pp. 54-55. In Russian
 10. Schegoleva NV. Buttercups (*Ranunculus* L.) of East Kazakhstan. In: *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana* [Botanical research in Siberia and Kazakhstan]. Vol. 18. Kupriyanov AN, editor. Kemerovo: Irbis Publ.; 2012. pp. 31-41. In Russian, English Summary
 11. Kupriyanov AN, Shchegoleva NV, Ebel AL. Review of Ranunculaceae on the Kazakh melkosopchnik flora. *Sistematische zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2016;113:49-62. In Russian, English Summary. doi: [10.17223/20764103.113.5](https://doi.org/10.17223/20764103.113.5)
 12. Shchegoleva NV, Zverev AA. Distribution of the family Ranunculaceae Juss. within Kazakhstan. In: *Izuchenie, sokhranenie i ratsionalnoe prirodopolzovanie rastitel'nogo mira Evrazii*. Mat. mezhd. nauchn. konf. [Study, conservation and rational nature management of the flora and vegetation of Eurasia. Proc. of the Int. Sci. Conf. (Almaty, Kazakhstan Republic, 17-19 August 2017)]. Almaty: SC MES RK Publ.; 2017. pp. 124-130. In Russian, English Summary
 13. Urgamal M, Oyuntsetseg B, Nyambayar D, Dulmamsuren Ch. Conspectus of the vascular plants of Mongolia. Sanchir Ch and Jamrsan TS, editors. Ulaanbaatar: Admon Printing Press; 2014. 334 p.
 14. Wiegand G, Bobrov A, Zalewska-Gałosz J. A taxonomic account of *Ranunculus* section *Batrachium* (Ranunculaceae). *Phytotaxa*. 2017;319(1):1-55. doi: [10.11646/phytotaxa.319.1.1](https://doi.org/10.11646/phytotaxa.319.1.1)
 15. Schegoleva NV. Conjugate ecological analysis of genus *Ranunculus* L. in the Altai-Sayan floristic province. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2008;2(1):31-41. In Russian

16. Shchegoleva NV. Taxonomy of the genus *Ranunculus* L. (Ranunculaceae) Siberia, Kazakhstan and Mongolia. *Sistemicheskie zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* = *Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2017;116:22-28. In Russian, English Summary. doi: [10.17223/20764103.116.4](https://doi.org/10.17223/20764103.116.4)
17. Hörandl E, Emadzade K. Evolutionary classification: A case study on the diverse plant genus *Ranunculus* L. (Ranunculaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2012;14(4):310-324. doi: [0.1016/j.ppees.2012.04.001](https://doi.org/0.1016/j.ppees.2012.04.001)
18. Gureyeva II, Balashova VF. Type specimens of Ranunculaceae in the Krylov Herbarium (TK). *Sistemicheskie zametki po materialam Gerbariya imeni P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* = *Systematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2012;105:32-52. In Russian, English Summary

Received 26 January 2018;

Accepted 10 March 2018; Published 30 March 2018

Author info:

Shchegoleva Natalia V, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: schegoleva@outlook.com

For citation: Shchegoleva NV. New distribution data on Altai endemic *Ranunculus schischkinii* in floras of Russia and Kazakhstan. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:182-189. doi: [10.17223/19988591/41/11](https://doi.org/10.17223/19988591/41/11)