

2024

Т. 16, № 4

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**



БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru

**МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА
ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ
ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ЕВРАЗИИ
ПО MORFOMETРИИ КРОН И ПОЛОГА,
ДОСТУПНОЙ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО
ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

В.А. Усольцев

*MODELS FOR ESTIMATING THE AGE OF
TREES AND STANDS OF FOREST-FORMING
SPECIES OF EURASIA BASED ON CROWN
AND CANOPY MORPHOMETRY AVAILABLE
FOR AERIAL LASER SCANNING*

V.A. Usoltsev

**ОСОБЕННОСТИ ГУМУСА ПОЧВ
ЗОЛОТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА**

О.А. Некрасова и соавт.

*SPECIFIC FEATURES OF ASH DUMP
SOILS HUMUS IN THE MIDDLE URALS*

O.A. Nekrasova et al.

**САПРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ
И ВОДОТОКОВ СРЕДНЕ-ВОЛЖСКОГО
БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА
ПО ВОДОРОСЛЯМ-ИНДИКАТОРАМ**

О.Г. Горохова

*INDICATOR ALGAE-BASED
SAPROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF
SMALL RESERVOIRS AND WATERCOURSES
IN MIDDLE VOLGA BIOSPHERE RESERVE*

O.G. Gorokhova

**ФАКТОРЫ ПЕРЕДАЧИ БОЛЕЗНЕЙ
ЧЕРЕЗ ВОДУ В УСЛОВИЯХ
ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ВЗРЫВА
В СТРАНАХ АФРИКИ**

А.М. Жамбиков

*FACTORS OF WATERBORNE
TRANSMISSION OF DISEASES UNDER
CONDITIONS OF DEMOGRAPHIC
EXPLOSION IN AFRICAN COUNTRIES*

A.M. Zhambikov



ФОТО: SCENICS & SCIENCE/ALAMY, WIRED.COM

© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

Том 16, № 4

Санкт-Петербург

2024



BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

Vol. 16, No. 4

Saint Petersburg

2024

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**EDITORIAL BOARD****ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР EDITOR-IN-CHIEF****Г.С. РОЗЕНБЕРГ (ТОЛЬЯТТИ) G.S. ROZENBERG (TOGLIATTI)****ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF****А.Г. ГОЛУБЕВ (С.-ПЕТЕРБУРГ) A.G. GOLUBEV (SAINT PETERSBURG)****СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:****И.М. ТАТАРНИКОВА**

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. TATARNIKOVA

ДИЗАЙН: Е.А. КОРЧАГИНА

DESIGN: YE.A. KORCHAGINA

ВЕРСТКА: Т.А. СЛАЩЕВА

LAYOUT: T.A. SLASCHEVA

КОРРЕКТОР: Н.А. НАТАРОВА

PROOFREADING: N.A. NATAROVA

АДМИН САЙТА:**И.В. ПЕРЕСКОКОВ**

SITE ADMIN:

I.V. PERESKOKOV

Е.В. Абакумов (С.-Петербург) E.V. Abakumov (Saint Petersburg)**Э.В. Баркова (Москва) E.V. Barkova (Moscow)****В.Н. Большаков (Екатеринбург) V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)****Л.Я. Боркин (С.-Петербург) L.Ja. Borkin (Saint Petersburg)****А.К. Бродский (С.-Петербург) A.K. Brodsky (Saint Petersburg)****Р.М. Вильфанд (Москва) R.M. Vilfand (Moscow)****В.В. Глупов (Новосибирск) V.V. Glupov (Novosibirsk)****М.Д. Голубовский (Окленд, США) M.D. Golubovskiy (Oakland, CA, USA)****В.А. Драгавцев (С.-Петербург) V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)****Г.В. Жижин (С.-Петербург) G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)****Т.Д. Зинченко (Тольятти) T.D. Zinchenko (Togliatti)****Г.А. Ивахненко (С.-Петербург) G.A. Ivakhnenko (Saint Petersburg)****Г.А. Исаченко (С.-Петербург) G.A. Isachenko (Saint Petersburg)****Л.М. Кавеленова (Самара) L.M. Kavelenova (Samara)****Н.А. Кашулин (Апатиты) N.A. Kashulin (Apatity)****М. Клявинш (Рига, Латвия) M. Klavins (Riga, Latvia)****С.В. Кривовичев (С.-Петербург) S.V. Krivovichev (Saint Petersburg)****Г.Р. Кудоярова (Уфа) G.R. Kudoyarova (Ufa)****А.Ю. Кулагин (Уфа) A.Yu. Kulagin (Ufa)****М.Д. Магомедов (Махачкала) M.D. Magomedov (Makhachkala)****Н.Н. Марфенин (Москва) N.N. Marfenin (Moscow)****М.А. Надпорожская (С.-Петербург) M.A. Nadporozhskaya (Saint Petersburg)****Ю.К. Новожилов (С.-Петербург) Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)****Г.В. Осипов (Москва) G.V. Osipov (Moscow)****В.А. Павлюшин (С.-Петербург) V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)****К.М. Петров (С.-Петербург) K.M. Petrov (Saint Petersburg)****О.Н. Пугачев (С.-Петербург) O.N. Pugachev (Saint Petersburg)****Ю.А. Рахманин (Москва) Yu.A. Rakhmanin (Moscow)****В. Реген (Берлин, Германия) W. Regen (Berlin, Germany)****А.А. Редько (С.-Петербург) A.A. Redko (Saint Petersburg)****А.Л. Рижинашвили (С.-Петербург) A.L. Rzhinashvili****Г.А. Софронов (С.-Петербург) G.A. Sofronov (Saint Petersburg)****В.М. Тарбаева (С.-Петербург) V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)****Ф.А. Темботова (Нальчик) F.A. Tembotova (Nalchik)****И.А. Тихонович (С.-Петербург) I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)****М.Д. Уфимцева (С.-Петербург) M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)****М.А. Филатов (Сургут) M.A. Filatov (Surgut)****Е.Я. Фрисман (Биробиджан) Ye.Ya. Frisman (Birobijan)****О. Чертов (Бинген-на-Рейне, Германия) O. Chertov (Bingen am Rhein, Germany)****Л.П. Чурилов (С.-Петербург) L.P. Churilov (Saint Petersburg)****АДРЕС РЕДАКЦИИ:****197110, Санкт-Петербург,****Большая Разночинная ул., д. 28;****Тел./факс: (812) 415-41-61****Эл. почта: biosphaera@21mm.ru****Электронная версия:****http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)****POSTAL ADDRESS:**

28 Bolshaya Raznochinnaya,

197110,

Saint Petersburg, Russia;

Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;

E-mail: biosphaera@21mm.ru

Online version:**http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)**

СОДЕРЖАНИЕ

A3

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

ТЕОРИЯ / THEORY

379

МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ЕВРАЗИИ ПО МОРФОМЕТРИИ КРОН И ПОЛОГА, ДОСТУПНОЙ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В.А. Усольцев

MODELS FOR ESTIMATING THE AGE OF TREES AND STANDS OF FOREST-FORMING SPECIES OF EURASIA BASED ON CROWN AND CANOPY MORPHOMETRY AVAILABLE FOR AERIAL LASER SCANNING

V.A. Usoltsev

ПРАКТИКА / PRACTICE

387

ОСОБЕННОСТИ ГУМУСА ПОЧВ ЗОЛОТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

О.А. Некрасова, А.П. Учаев, М.И. Дергачева, А.А. Бетехтина, Т.А. Радченко

SPECIFIC FEATURES OF ASH DUMP SOILS HUMUS IN THE MIDDLE URALS

O.A. Nekrasova, A.P. Uchaev, M.I. Dergacheva, A.A. Betekhtina, T.A. Radchenko

397

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ВЕРХНЕГО ПРИАНГАРЬЯ С УЧЕТОМ НОВОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И.А. Белозерцева, Д.Н. Лопатина, Н.А. Зверева, А.А. Черкашина, Н.А. Скосырский

ASSESSMENT OF THE QUALITY AND USE OF THE LANDS OF THE UPPER ANGARA REGION WITH ACCOUNT FOR A NEW INTEGRAL INDEX OF SOIL FERTILITY

I.A. Belozertseva, D.N. Lopatina, N.A. Zvereva, A.A. Cherkashina, N.A. Skosyrsky

406

ВОДНЫЙ ОБМЕН ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.А. Уразбахтин, Р.В. Уразгильдин

WATER RELATIONS IN NEEDLES OF SCOTCH PINE UNDER DIFFERENT POLLUTION CONDITIONS IN SOUTH URALS

A.A. Urazbakhtin, R.V. Urazgildin

417

СОДЕРЖАНИЕ ХРОМА В ПОЧВАХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

К.А. Дурягина, А.И. Иванов, Д.Г. Смирнов

CONTENT OF CHROME IN SOILS AND BIOLOGICAL OBJECTS OF VOLGA HIGHLANDS FOREST ECOSYSTEMS

K.A. Duriagina, A.I. Ivanov, D.G. Smirnov

ПРИРОДА / NATURE

428

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША ВОЛЧЕЯГОДНИКА *DAHPNE LAUREOLA* НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Н.А. Багрикова, Ю.В. Плугатарь, В.В. Корженевский, З.Д. Бондаренко

ECOLOGICAL NICHE OF DAPHNE LAUREOLA IN PROTECTED AREAS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

N.A. Bagrikova, Yu.V. Plugatar, V.V. Korzhenevsky, Z.D. Bondarenko

439

САПРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ СРЕДНЕ-ВОЛЖСКОГО БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА ПО ВОДОРΟΣЛЯМ-ИНДИКАТОРАМ

О.Г. Горохова

INDICATOR ALGAE-BASED SAPROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SMALL RESERVOIRS AND WATERCOURSES IN MIDDLE VOLGA BIOSPHERE RESERVE

O.G. Gorokhova

450

СТРОЕНИЕ КРОНЫ У МОЛОДЫХ ОСОБЕЙ ДУБА *QUERCUS ROBUR L.* В РАЗЛИЧНЫХ СООБЩЕСТВАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ НИЖЕГОРОДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

М.Н. Стаменов

CROWN STRUCTURE OF YOUNG QUERCUS ROBUR L. TREES IN DIFFERENT COMMUNITIES OF TRANS-VOLGA SOUTH TAIGA AROUND NIZHNIY NOVGOROD

M.N. Stamenov

ОБЩЕСТВО / SOCIETY

462

ЗАПОВЕДНОЕ ДЕЛО В РОССИИ: СТАНДАРТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КВАЛИФИКАЦИЙ И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ**Г.А. Шайхутдинова, Т.В. Рогова, О.Н. Кревер, Л.Г. Фалалева***NATURE RESERVE AFFAIRS IN RUSSIA: STANDARDS OF PROFESSIONAL QUALIFICATIONS AND STAFF TRAINING
G.A. Shaykhutdinova, T.V. Rogova, O.N. Krever, L.G. Falaleyeva***ЗДРАВООХРАНЕНИЕ / PUBLIC HEALTH**

486

ФАКТОРЫ ПЕРЕДАЧИ БОЛЕЗНЕЙ ЧЕРЕЗ ВОДУ В УСЛОВИЯХ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ВЗРЫВА В СТРАНАХ АФРИКИ**А.М. Жамбиков***FACTORS OF WATERBORNE TRANSMISSION OF DISEASES UNDER CONDITIONS OF DEMOGRAPHIC EXPLOSION IN AFRICAN COUNTRIES
A.M. Zhambikov*

МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ЕВРАЗИИ ПО МОРФОМЕТРИИ КРОН И ПОЛОГА, ДОСТУПНОЙ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В.А. Усольцев

Ботанический сад УрО РАН и Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Эл. почта: Usoltsev50@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.08.2024; принята к печати 22.10.2024

Возраст древостоя – важный показатель сукцессионной динамики лесных экосистем после внешних воздействий и повреждений – играет ключевую роль в проведении лесохозяйственных мероприятий и сохранении биоразнообразия. Возраст влияет на долгосрочную динамику углеродного баланса лесов, потенциал связывания углерода и перспективы достижения углеродной нейтральности. Современные методы дистанционного зондирования дают возможность оценивать возраст на уровне как отдельного древостоя, так и их совокупностей на больших площадях. Лидарные технологии с применением дронов перспективны при локальных оценках возраста деревьев и древостоев по их морфометрическим показателям, однако такие исследования довольно редки. Цель нашего исследования состояла в построении моделей зависимости возраста деревьев и древостоев от их основных морфометрических показателей, доступных для лидарного сканирования. Основой для исследования послужили две авторские базы данных, из которых были взяты данные измерений 5320 модельных деревьев и 5817 древостоев 13 лесообразующих родов Евразии. У аллометрических моделей зависимости возраста дерева от его высоты и диаметра кроны коэффициенты детерминации от 0,60 до 0,66. Вклады высоты дерева и диаметра кроны в объяснение изменчивости возраста деревьев составили соответственно 71 и 29%. У аллометрических моделей зависимости возраста древостоев от их высоты и густоты коэффициенты детерминации от 0,45 до 0,89. Вклады средней высоты древостоя и его густоты в изменчивость возраста составляют соответственно 54 и 46%. Предложенные модели могут быть использованы при оценке возраста деревьев и древостоев лесообразующих родов Евразии с помощью бортовых лидарных технологий, в том числе с применением дронов. *Ключевые слова:* лесообразующие роды Евразии, возраст деревьев и древостоев, морфометрические показатели, аллометрические модели.

MODELS FOR ESTIMATING THE AGE OF TREES AND STANDS OF FOREST-FORMING SPECIES OF EURASIA BASED ON CROWN AND CANOPY MORPHOMETRY AVAILABLE FOR AERIAL LASER SCANNING

V.A. Usoltsev

Ural State Forest Engineering University and Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Email: Usoltsev50@mail.ru

The age of a forest stand is an important indicator reflecting succession dynamics of forest ecosystem after external influences and damages. It plays a key role in forestry activities and in preserving of biodiversity. Forest age influences the long-term dynamics of carbon balance, the potential for carbon sequestration and prospects for achieving carbon neutrality. Modern remote sensing methods make it possible to estimate the age of both an individual stand and stand aggregates over large areas. Lidar technologies using drones are promising for local estimates of the age of trees and stands based on their morphometric indicators; however, such studies are quite rare. The purpose of the present study was to develop models of the dependence of the age of trees and stands on their basic morphometric indicators available for lidar scanning. The study was based on two original databases, from which measurement data related to 5320 model trees and 5817 stands of 13 forest-forming genera of Eurasia were taken. In allometric models of the dependence of the age of a tree on its height and crown diameter, determination coefficients range from 0.60 to 0.66. The contributions of tree height and crown diameter to the variability of tree age are 71 and 29% respectively. In allometric models of the dependence of the age of stands on their height and density, determination coefficients range from 0.45 to 0.89. The contributions of the average height of a stand and its density to the variability of age are 54 and 46% respectively. The proposed models can be used for estimating the age of trees and stands of forest-forming genera of Eurasia using airborne lidar technologies, including the use of drones.

Keywords: forest-forming genera of Eurasia, height of trees and stands, morphometric indicators, allometric models.

Введение

Возраст насаждений является важным показателем, отражающим сукцессионную динамику после внешних воздействий и повреждений, играет ключевую роль при назначении и проведении лесохозяйственных мероприятий и заготовки древесины [46] и сохранении биоразнообразия [36]. Возраст является основополагающим фактором, влияющим на долгосрочную динамику углеродного баланса лесов [17, 18, 26, 52], потенциал связывания углерода [24, 37, 39, 50] и перспективы достижения углеродной нейтральности [48]. Возраст насаждений является важнейшим параметром, определяющим состояние лесных экосистем. Однако при отсутствии данных об изменении возрастной структуры насаждений в пространстве и времени становится невозможным учет истории нарушений и восстановления лесов, что приводит к увеличению неопределенности в оценках их углерод депонирующей способности [27, 33].

В статье «Лес и математика» [4] проф. К.Е. Никитин пишет: «Изучая рост древостоев по высоте, диаметру, запасу древесины и пр., лесовод учитывает, что числовые значения этих показателей изменяются и зависят от многих причин. Однако при прочих равных условиях изменение их находится в зависимости от возраста насаждений. В этом случае можно сказать, что любой из названных показателей является функцией возраста» (с. 25). С возрастом связан такой основополагающий биопродукционный показатель, как чистая первичная продукция (ЧПП). Для моделирования и прогнозирования углеродного цикла в лесах необходимы надежные взаимосвязи между ЧПП и возрастом насаждений. Известно, что ЧПП с возрастом увеличивается, достигает максимального значения при смыкании полога и затем постепенно снижается [29]. Напротив, гетеротрофное дыхание в лесу сначала снижается с возрастом в результате истощения почвенного углерода, а затем возрастает по мере увеличения почвенного запаса углерода в результате разложения лесной подстилки [16]. При таких соотношениях между возрастом древостоя, ЧПП и гетеротрофным дыханием чистая экосистемная продукция и запасы углерода в экосистеме в значительной степени зависят от возраста насаждения [24, 34]. Однако информацию о возрасте насаждений редко включали в разрабатываемые модели углеродного цикла из-за отсутствия надежной информации о его пространственном распределении. В целом, получить надежную крупномасштабную информацию о возрасте насаждений с высоким пространственным разрешением довольно сложно [30, 53]. Тем не менее, точное картирование возраста лесов имеет большое значение для управления лесным хозяйством и моделирования углеродного цикла [31].

Современные технологии лидарного зондирования обеспечивают крупномасштабное картографи-

рование лесов с получением трехмерной информации о структуре лесного полога, степени деградации лесов, надземной фитомассе, первичной продукции и биоразнообразию. Общемировой библиометрический анализ по данной теме на основе 412 публикаций, проиндексированных в базе данных Scopus за период 2004–2022 годов, показал, что за последние пять лет количество публикаций нарастало в геометрической прогрессии [10]. Использование данных дистанционного зондирования с применением методов нейронных сетей показало обнадеживающие результаты по идентификации породного состава лесного полога [25].

Возможность составления крупномасштабных карт возраста насаждений предоставляет дистанционное спутниковое зондирование [46, 49]. При калибровке и валидации результатов оно опирается на данные полевых измерений возраста, и это сочетание обеспечивает перспективный способ территориального картирования возраста лесных насаждений. Например, в Северной Америке для крупномасштабного картирования возраста лесных насаждений были использованы эмпирические зависимости между полученным со спутника индексом их повреждения и временем, прошедшим с момента последнего пожара [12, 37]. Однако для количественной привязки индекса повреждения к возрасту древостоя по этому методу требуются данные датирования пожарных подсушин, которые обычно недоступны. Кроме того, леса имеют повреждения не только от лесных пожаров, и совмещение нескольких типов нарушений приводит к существенной неопределенности. В другом исследовании при составлении национальной карты возраста древостоев были объединены данные лесной инвентаризации с полученным со спутника вегетационным индексом NDVI, вычисляемым по значениям спектральной яркости пикселей в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра [20]. На территории Лессового Плато в Китае была составлена карта распределения возраста лесов с помощью алгоритма LandTrendr. Алгоритм дал возможность довольно точно определить начало пост-пирогенной восстановительной динамики растительности по годичной траектории нормализованного индекса гарей NBR (Normalized Burn Ratio), основанного на соотношении ближнего инфракрасного и среднего инфракрасного каналов [11]. Сравнение с наземными данными показало наличие среднеквадратической ошибки, равной 2,1 года [30].

При составлении крупномасштабных карт возраста насаждений в последние годы применяют методы машинного обучения, которые позволяют учитывать сложные взаимосвязи между их возрастом и всеми связанными с ним экзо- и эндогенными переменными [42]. В отличие от биологически обоснованных уравнений

связи высоты и возраста древостоев, машинное обучение имеет корреляционный характер [31]. Методы машинного обучения были использованы для составления глобальной карты возраста лесов с разрешением 1000 м на основе климатических данных и данных о биомассе из проекта Globbiomass (агрегированных с разрешением от 100 до 1000 м с использованием метода билинейной повторной выборки) [14]. На исследовательском полигоне в сухих тропических лесах Коста-Рики выполнено картирование возраста насаждений с использованием набора гиперспектральных данных, бортового лидара полной формы волны и трех методов машинного обучения [43]. Для картирования возраста насаждений на юге Китая были объединены методы выборочного анализа насаждений и отслеживания изменений растительности во времени и пространстве [21]. Поскольку различные методы машинного обучения показали разную точность при картировании возраста насаждений, был сделан вывод о необходимости их сравнительного анализа на основе количественной оценки вклада различных входных переменных с целью обоснования их выбора при калибровке по данным полевых измерений [31].

С использованием упомянутых методов было выполнено картирование возраста насаждений с разрешением 1000 м и среднеквадратичной ошибкой 12 лет на основе уравнений роста древостоев по типам леса и регионам Китая. Затем для уточнения взаимосвязи между возрастом и высотой древостоев при картировании были добавлены данные о температуре, осадках и высоте над уровнем моря [51, 53]. Было показано, что разрешение 1000 м позволяло усреднить высоту совокупности лесных насаждений с точностью до пикселя, что приводило к завышению оценок возраста в молодых насаждениях и занижению в спелых [31]. С помощью космического лидарного аппарата Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) были получены данные с высокой плотностью выборки, необходимой для описания структурных характеристик глобальных лесов [22]. Основываясь на наблюдениях GEDI, предоставленных спутником Landsat, и данных ICESat-2, в Китае было выполнено национальное картирование возраста насаждений с пространственным разрешением 30 м [32].

В лесных экосистемах Канады для оценки возраста насаждений на основе данных Landsat с пространственным разрешением 30 м были объединены три подхода [36]. При первом подходе используются протоколы обнаружения изменений в нарушениях древостоев за период с 1985 по 2019 год, а время, прошедшее с момента нарушения, использовано в качестве показателя их возраста. При втором подходе используются композиции с коэффициентами отражения поверхности со спутника Landsat для идентификации пикселей, свидетельствующих о восстановлении после на-

рушения, произошедшем в течение двадцати лет до 1985 года. Наконец, инвертированные аллометрические уравнения связи между возрастом древостоя и высотой полога объединяются с картами таксационной структуры лесов и показателями продуктивности с целью оценить возраст насаждения для тех пикселей, которые не показывали признаков нарушений древостоев максимум до 150 лет. Комбинированием названных трех подходов рассчитаны возрасты насаждений для каждого пикселя лесных экосистем Канады. Эти пространственно-точные карты возраста насаждений предоставили важную информацию для понимания функционирования лесных экосистем и обоснования широкого спектра политических, научных и управленческих потребностей [36].

В России в связи с ежегодно повторяющимися на огромных территориях лесными пожарами, а также с вырубкой древостоев, в том числе, несанкционированной [2], картирование возрастной структуры лесов на основе дистанционного зондирования является насущной необходимостью, однако такие исследования проводятся сравнительно редко [6, 19, 42].

Возраст дерева и древостоя традиционно измеряется путем отбора кернов на стволах деревьев, что представляет довольно трудозатратный процесс [15, 40, 47]. Кроме того, существует проблема репрезентативности, когда возраст, полученный по модельным деревьям, может не соответствовать среднему возрасту насаждения, а количество пробных площадей недостаточно для охвата больших территорий [46]. Возраст древостоя также может быть оценен с помощью уравнения регрессии с использованием фотограмметрически определенных высоты древостоя и размера кроны в качестве прогностических переменных, однако в подобных ситуациях неопределенность оценок довольно высока, и вместо возраста устанавливается лишь один из 20-летних классов возраста [45]. Более точные оценки морфологии крон и, как следствие, возраста деревьев и древостоев обеспечиваются воздушными лидарными технологиями [23], в том числе с применением дронов [38]. В ельниках Норвегии была исследована связь возраста древостоев разных классов бонитета с их средней высотой, зарегистрированной бортовым лидарным устройством. Установлено увеличение коэффициента детерминации R^2 с 0,46 до 0,96 по мере повышения класса бонитета [41]. В Китае связь возраста древостоя с его средней высотой характеризовалась величиной R^2 на уровнях провинции и региона соответственно 0,53 и 0,87 [52]. В другом исследовании по Китаю названная связь оценивалась на уровне R^2 , равном 0,56 [49], и в насаждениях Финляндии – на уровне 0,71 [35].

Для расчета двухфакторных моделей зависимости возраста дерева от его высоты и диаметра кроны в Финляндии были получены данные измерений

11246 растущих деревьев, в том числе 5303 сосны обыкновенной, 3661 ели европейской и 2282 березы. Для измерения высоты дерева использовался гипсометр Суунто, возраст дерева определялся с помощью возрастного бурава, а диаметр кроны – прибором Каянуса [28]. Выполнен анализ данных согласно трем видам аллометрических моделей

$$\ln A = a_0 + a_1 \ln H, \quad (1)$$

$$\ln A = a_0 + a_1 \ln D_c, \quad (2)$$

$$\ln A = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D_c, \quad (3)$$

где: A – возраст дерева, лет; H – высота дерева, дм; D_c – диаметр кроны, дм.

Было установлено, что для сосны, ели и березы коэффициент детерминации R^2 составил соответственно: 0,45; 0,55 и 0,42 по модели (1), 0,15; 0,31 и 0,36 по модели (2) и 0,44; 0,54 и 0,44 по модели (3). Модели (1), (2) и (3) по совокупности данных трех древесных видов показали значения R^2 соответственно 0,42; 0,20 и 0,41 [28]. Очевидно, что диаметр кроны обеспечивал существенно меньший вклад в объяснение изменчивости возраста дерева при сравнении с его высотой, и, судя по коэффициентам детерминации, дополнительное его включение в модели (1) практически не повысило адекватность моделей (3).

Цель нашего исследования состояла в построении моделей зависимости возраста деревьев и древостоев от их основных морфометрических показателей, доступных для лидарного сканирования, на уровне лесообразующих родов Евразии.

Материалы и методы исследования

Исходными данными для исследования послужили материалы последних дополненных версий баз данных о структуре фитомассы деревьев [7] и древостоев [8] лесообразующих видов Евразии. Регрессионный анализ выполнен на уровне родов (подродов), видовой состав которых был показан ранее [9]. Анализ на уровне родов дает возможность использовать полученные модели для тех видов в пределах рода, фактические данные о которых пока отсутствуют.

Поскольку эмпирические модели применимы лишь в фактических диапазонах изменчивости анализируемых переменных, представление о диапазонах применимости моделей дает характеристика исходных данных (табл. 1).

В соответствии с поставленной целью исследования, анализ фактических данных (табл. 1) выполнен с использованием двух структур аллометрических моделей.

Первая модель: $\ln A = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D_c + a_3 (\ln H) \times (\ln D_c)$, (4)

где: $(\ln H) \times (\ln D_c)$ – комбинированная переменная, характеризующая совместное действие независимых переменных [1, 3]. Структура оценочной модели для возраста древостоя принята по аналогии с моделью для оценки среднего диаметра древостоя, реализованной в насаждениях Японии [44].

Вторая модель: $\ln A_m = a_0 + a_1 \ln H_m + a_2 \ln N$. (5)

Табл. 1

Характеристика фактических данных о 5320 деревьях и 5817 древостоях, использованных в последующем регрессионном анализе

| Род (подрод) | Число наблюдений | Диапазоны исходных значений анализируемых показателей деревьев | | | Число наблюдений | Диапазоны исходных значений анализируемых показателей древостоев | | |
|-------------------------|------------------|--|----------|----------|------------------|--|----------|-----------|
| | | A | H | D_c | | A_m | H_m | N |
| <i>Pinus</i> L. | 2170 | 3–430 | 1,4–36,6 | 0,1–13,9 | 2360 | 3–380 | 1,4–38,3 | 0,1–120,0 |
| <i>Picea</i> L. | 750 | 10–250 | 1,4–36,3 | 0,3–8,6 | 664 | 7–350 | 1,6–38,6 | 0,2–187,5 |
| <i>Abies</i> Mill. | 280 | 8–230 | 2,2–32,7 | 0,6–8,9 | 260 | 5–280 | 2,2–45,0 | 0,1–96,0 |
| <i>Larix</i> Mill. | 130 | 11–420 | 1,4–34,0 | 0,3–13,0 | 464 | 10–380 | 1,8–40,0 | 0,1–122,5 |
| <i>Haploxyton</i> Pilg. | 90 | 7–230 | 1,7–26,8 | 0,8–7,7 | 146 | 7–380 | 1,5–31,0 | 0,1–16,2 |
| <i>Betula</i> L. | 715 | 6–130 | 1,5–27,1 | 0,3–13,4 | 480 | 6–240 | 1,5–30,3 | 0,1–304,0 |
| <i>Populus</i> L. | 270 | 6–75 | 2,1–28,8 | 0,4–11,0 | 252 | 6–220 | 1,7–31,0 | 0,2–131,4 |
| <i>Alnus</i> Gaertn. | 400 | 6–95 | 4,2–27,8 | 0,5–8,4 | 165 | 6–93 | 2,7–30,0 | 0,2–96,2 |
| <i>Tilia</i> L. | 120 | 13–115 | 7,5–23,8 | 0,5–9,2 | 258 | 11–150 | 1,7–29,6 | 0,1–115,0 |
| <i>Quercus</i> L. | 370 | 6–183 | 2,2–32,6 | 0,6–15,5 | 468 | 6–280 | 1,8–34,1 | 0,1–41,2 |
| <i>Fagus</i> L. | 235 | 8–230 | 2,2–28,8 | 0,7–12,3 | 208 | 8–400 | 1,7–39,0 | 0,1–51,8 |
| <i>Carpinus</i> L. | 85 | 6–90 | 2,5–24,5 | 0,5–6,1 | 40 | 6–90 | 3,4–23,4 | 0,4–13,5 |
| <i>Fraxinus</i> L. | 75 | 7–120 | 2,5–36,0 | 0,6–10,4 | 52 | 7–215 | 3,1–35,0 | 0,2–52,7 |

* **Примечание:** A и A_m – возраст дерева и древостоя, лет; H и H_m – высота дерева и средняя высота древостоя, м; D_c – диаметр кроны дерева, м; N – число деревьев на 1 га, тыс. экз. Подрод *Pinus* представлен двухвойными соснами, подрод *Haploxyton* – пятивойными соснами.

Результаты и их обсуждение

Модель (4) на уровне дерева

Результаты расчета модели (4) даны в табл. 2. Согласно результатам расчета модели (4), связь возраста дерева с его высотой и диаметром кроны характеризуется для всех родов коэффициентами детерминации от 0,60 до 0,66, за исключением лиственницы, для которой adjR^2 составил 0,39. Все приведенные в табл. 2 регрессионные коэффициенты значимы на уровне вероятности $P < 0,01$. Вклады независимых переменных в объяснение изменчивости возраста деревьев [1, 5] различаются по родам. Вклад высоты дерева варьирует от 42 до 87% (в среднем 71%) и вклад диаметра кроны – от 13 до 58% (в среднем 29%).

Очевидно, что адекватность полученных моделей существенно выше по сравнению с моделями для трех древесных видов Финляндии [28]. Одна из возможных причин повышенной адекватности предложенных моделей может состоять в исходных эмпирических данных, полученных на срубленных модельных деревьях, тогда как в Финляндии были использованы данные растущих деревьев, параметры которых определяются с более высокой ошибкой по сравнению со срубленными модельными деревьями.

Модель (5) на уровне древостоя

Расчет модели (5) показал (табл. 3), что коэффициенты детерминации по 13 родам находятся в пределах

Табл. 2

Результаты регрессионного анализа модели (4)

| Род (подрод) | Характеристика модели (4) | | | | | |
|-------------------|---------------------------|--------|---------|--------|-----------------|-------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | adjR^2 | SE |
| <i>Pinus</i> | 2,0952 | 0,6509 | -0,7941 | 0,3001 | 0,601 | 0,378 |
| <i>Picea</i> | 2,7909 | 0,2059 | – | 0,1857 | 0,667 | 0,336 |
| <i>Abies,</i> | 2,1308 | 0,6112 | – | 0,0879 | 0,656 | 0,411 |
| <i>Larix</i> | 2,9682 | 0,2755 | – | 0,1337 | 0,394 | 0,508 |
| <i>Haploxyton</i> | 2,6877 | 0,3331 | -1,0974 | 0,6307 | 0,863 | 0,291 |
| <i>Betula</i> | 1,8218 | 0,5240 | -0,4305 | 0,2574 | 0,635 | 0,352 |
| <i>Populus</i> | 1,1902 | 0,6135 | – | 0,1200 | 0,720 | 0,310 |
| <i>Alnus</i> | 0,3653 | 1,0042 | -1,0035 | 0,4474 | 0,785 | 0,274 |
| <i>Tilia</i> | 1,3150 | 0,8894 | – | 0,0499 | 0,639 | 0,178 |
| <i>Quercus</i> | 1,3027 | 0,8567 | -0,3547 | 0,1560 | 0,848 | 0,247 |
| <i>Fagus</i> | 1,6401 | 0,6048 | -0,5573 | 0,3016 | 0,853 | 0,241 |
| <i>Carpinus</i> | 0,7643 | 0,7733 | – | 0,2354 | 0,730 | 0,385 |
| <i>Fraxinus</i> | 0,7219 | 0,7783 | – | 0,1867 | 0,778 | 0,373 |

* **Примечание.** Здесь и далее: свободный член моделей a_0 скорректирован на поправку за счет логарифмирования переменных [13]; adjR^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка модели.

Табл. 3

Результаты регрессионного анализа модели (5)

| Род (подрод) | Характеристика модели (5) | | | | |
|-------------------|---------------------------|--------|---------|-----------------|-------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | adjR^2 | SE |
| <i>Pinus</i> | 2,5582 | 0,5814 | -0,2069 | 0,652 | 0,459 |
| <i>Picea</i> | 2,8303 | 0,5293 | -0,2927 | 0,664 | 0,440 |
| <i>Abies,</i> | 2,8236 | 0,5567 | -0,0873 | 0,617 | 0,418 |
| <i>Larix</i> | 3,9710 | 0,2038 | -0,4326 | 0,454 | 0,576 |
| <i>Haploxyton</i> | 2,1712 | 0,9562 | – | 0,867 | 0,335 |
| <i>Betula</i> | 3,2761 | 0,2462 | -0,3193 | 0,655 | 0,399 |
| <i>Populus</i> | 1,7981 | 0,6614 | -0,2057 | 0,653 | 0,469 |
| <i>Alnus</i> | 0,9047 | 0,9815 | -0,1148 | 0,809 | 0,262 |
| <i>Tilia</i> | 1,0307 | 1,0926 | -0,2209 | 0,889 | 0,224 |
| <i>Quercus</i> | 2,5069 | 0,5652 | -0,3004 | 0,742 | 0,370 |
| <i>Fagus</i> | 2,9558 | 0,4318 | -0,2874 | 0,671 | 0,378 |
| <i>Carpinus</i> | 1,6588 | 0,8031 | -0,3526 | 0,731 | 0,348 |
| <i>Fraxinus</i> | 1,6709 | 0,8255 | -0,2346 | 0,838 | 0,401 |

от 0,45 до 0,89, что сопоставимо с моделями, описывающими связь возраста древостоев с единственной независимой переменной – их высотой [35, 41, 49, 52]. Регрессионные коэффициенты при независимых переменных значимы на уровне вероятности $P < 0,01$. Исключение составили модели для пихт, где переменная густоты была значимой на уровне $P < 0,05$, и для пятихвойных сосен, где переменная густоты оказалась не значимой на уровне $P < 0,05$ и была исключена из анализа (табл. 3).

Вклады независимых переменных в объяснение изменчивости возраста древостоев, как и возраста деревьев, различаются по родам. Вклад средней высоты древостоя варьирует от 18 до 77% (в среднем 54%) и вклад густоты древостоя – от 23 до 82% (в среднем 46%).

Заключение

По материалам двух авторских баз данных для 13 древесных родов Евразии построены модели зависимости возраста дерева и древостоя от основных морфометрических показателей, доступных для бортового лазерного сканирования.

Аллометрические модели зависимости возраста дерева от его высоты и диаметра кроны характеризуются

коэффициентами детерминации от 0,60 до 0,66, за исключением лиственницы, для которой $\text{adj}R^2$ составил 0,39. Все регрессионные коэффициенты моделей значимы на уровне $P < 0,01$. Вклады независимых переменных в объяснение изменчивости возраста деревьев различаются по родам. Вклад высоты дерева составил в среднем 71% и вклад диаметра кроны – 29%.

Аллометрические модели зависимости возраста древостоев от их высоты и густоты характеризуются коэффициентами детерминации от 0,45 до 0,89, что сопоставимо с ранее опубликованными моделями, описывающими связь возраста древостоев с единственной независимой переменной – их высотой. Регрессионные коэффициенты при независимых переменных для большинства родов значимы на уровне $P < 0,01$. Вклады средней высоты древостоя и его густоты в объяснение изменчивости возраста составляют соответственно 54 и 46%.

Предложенные модели могут быть использованы при оценке возраста деревьев и древостоев лесообразующих родов Евразии с помощью бортовых лидарных технологий, в том числе с применением дронов.

Работа выполнена согласно государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Лиёпа ИЯ. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне; 1980.
2. Лупян ЕА, Балашов ИВ, Барталев СА и др. Лесные пожары на территории России: особенности пожароопасного сезона 2019 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019;16(5):356–63.
3. Мауринь АМ, Лиёпа ИЯ, Дрике АЯ, Поспелова ГЕ. Прогнозирование плодоношения древесных растений. Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М.: Наука; 1977. С. 50–3.
4. Никитин КЕ. Лес и математика. Лесное хозяйство. 1965;5:25–9.
5. Розенберг ГС, Долотовский ИМ. Еще раз о показателях силы влияния. Биологические науки. 1988;9: 105–10.
6. Токарева ОС, Алшайби АДА, Пасько ОА. Оценка восстановительной динамики растительного покрова лесных гарей с использованием данных со спутников Landsat. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021;332(7):191–9.

7. Усольцев ВА. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии. Электронная база данных. 3-е дополненное издание. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет; 2023. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451>.
8. Усольцев ВА. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Электронная база данных. 4-е дополненное издание. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет; 2023. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.
9. Цепордей ИС. Биологическая продуктивность лесообразующих видов в климатическом контексте Евразии (под ред. проф. В.А. Усольцева). Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ; 2023. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.

Общий список литературы/Referencest

1. Liyepa IYa. Dinamika Drevesnykh Zapasov: Prognozirovaniye i Ekologiya. [Dynamics of Wood Stocks: Forecasting and Ecology]. Riga: Zinatne; 1980. (In Russ.)

2. Lupyan YeA, Balashov IV, Bartalev SA et al. [Forest fires in Russia: features of the fire season 2019]. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2019;16(5):356-63. (In Russ.)
3. Maurin' AM, Liyepa IYa, Drike AY, Pospelova GE. [Forecasting the fruiting of woody plants]. In: *Optimizatsiya Ispolzovaniya i Vosproizvodstva Lesov v SSSR*. [Optimization of the Use and Reproduction of Forests of the USSR]. Moscow: Nauka; 1977. P. 50-3. (In Russ.)
4. Nikitin KE. *Les i Matematika*. [Forest and Mathematics]. *Lesnoye Khoziystvo*. 1965;5:25-9. (In Russ.)
5. Rosenberg GS, Dolotovskiy IM. [Once again on the indicators of the power of influence]. *Biologicheskiiye Nauki*. 1988;9:105-10. (In Russ.)
6. Tokareva OS, Alshaibi ADA, Pas'ko OA. [Assessment of the regenerative dynamics of the vegetation cover of forest burns using data from Landsat satellites]. *Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov*. 2021;332(7):191-9. (In Russ.)
7. Usoltsev VA. *Fitomassa Model'nykh Dereviyev dlya Distantionnoy i Nazemnoy Taksatsii Lesov Yevrazii*. [Phytomass of Model Trees for Remote and Terrestrial Forest Taxation in Eurasia. An Electronic Database]. Yekaterinburg; 2023a. (In Russ.) Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451>.
8. Usoltsev VA. *Biomassa i Pervichnaya Produktsiya Lesov Yevrazii*. [Biomass and Primary Production of Eurasian Forests. An electronic database]. Yekaterinburg; 2023. (In Russ.) Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.
9. Tsepordey IS. *Biologicheskaya Produktivnost' Lesobrazuyushchikh Vidov v Klimaticheskoy Kontekste Yevrazii*. [Biological Productivity of Forest-Forming Species in the Climatic Context of Eurasia]. Yekaterinburg: Izdatel'stvo UMTs UPI; 2023. (In Russ.) Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.
10. Aguilar FJ, Rodríguez FA, Aguilar MA et al. Forestry applications of space-borne LiDAR sensors: A worldwide bibliometric analysis. *Sensors*. 2024;24:1106. <https://doi.org/10.3390/s24041106>.
11. Alcaras E, Costantino D, Guastaferro F et al. Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New index for Sentinel-2 Imagery. *Remote Sens*. 2022;14:1727.
12. Amiro BD, Chen JM. Forest-fire-scars aging using SPOT-VEGETATION for Canadian ecoregions. *Can J Forest Res*. 2003;33:1116-25.
13. Baskerville GL. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can J Forest Res*. 1972;2:49-53.
14. Besnard S, Koirala S, Santoro M et al. Mapping global forest age from forest inventories, biomass and climate data. *Earth Syst Sci Data*. 2021;13:4881-96.
15. Bradford JB, Birdsey RA, Joyce LA et al. Tree age, disturbance history, and carbon stocks and fluxes in subalpine rocky mountain forests. *Glob Chang Biol*. 2010;14:2882-97.
16. Chapin FS III, Matson PA, Vitousek PM. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology* (2nd edition). New York: Springer Science+Business Media; 2011.
17. Chen J, Chen W, Liu J et al. Annual carbon balance of Canada's forests during 1895–1996. *Glob Biogeochem Cycles*. 2000;14:839-49.
18. Chen JM, Ju W, Cihlar J et al. Spatial distribution of carbon sources and sinks in Canada's forests. *Tellus B Chem Phys Meteorol*. 2003;55:622-41.
19. Chen D, Loboda TV, Krylov A et al. Mapping stand age dynamics of the Siberian larch forests from recent Landsat observations. *Remote Sens Environ*. 2016;187:320-31.
20. Dai M, Zhou T, Yang LL et al. Spatial pattern of forest ages in China retrieved from national-level inventory and remote sensing imageries. *Geogr Res*. 2011;30(1):172-84.
21. Diao J, Feng T, Li M et al. Use of vegetation change tracker, spatial analysis, and random forest regression to assess the evolution of plantation stand age in Southeast China. *Ann For Sci*. 2020;77(2):27.
22. Dubayah R, Blair JB, Goetz S et al. The global ecosystem dynamics investigation: high-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Sci Remote Sens*. 2020;1:100002.
23. Farid A, Goodrich DC, Sorooshian S. Using airborne lidar to discern age classes of cottonwood trees in a riparian area. *West J Appl For*. 2006;21(3):149-58.
24. Goulden ML, Mcmillan AMS, Winston GC et al. Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession. *Glob Change Biol*. 2011;17(2):855-1.
25. Graves SJ, Marconi S, Stewart D et al. Data science competition for cross-site individual tree species identification from airborne remote sensing data. *PeerJ*. 2023;11:e16578. DOI: 10.7717/peerj.16578.
26. He LM, Chen JM, Pan YD et al. Relationships between net primary productivity and forest stand age in U.S. forests. *Glob Biogeochem Cycles*. 2012;26(3):GB3009.
27. Huang Z, Li X, Du H et al. An algorithm of forest age estimation based on the forest disturbance and recovery detection. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*. 2023;61:4409018.
28. Kalliovirta J, Tokola T. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height, crown width and existing stand database information. *Silva Fenn*. 2005;39:227-48.
29. Li P, Shang R, Chen JM et al. Evaluation of five models for constructing forest NPP–age relationships in China based on 3121 field survey samples. *Biogeosciences*. 2024;21:625-39.
30. Li P, Li H, Si B et al. Mapping planted forest age using LandTrendr algorithm and Landsat 5–8 on the Loess Plateau, China. *Agric For Meteorol*. 2024;344:109795.

31. Lin X, Shang R, Chen JM et al. High-resolution forest age mapping based on forest height maps derived from GEDI and ICESat-2 space-borne lidar data. *Agric For Meteorol.* 2023;339:109592.
32. Liu X, Su Y, Hu T et al. Neural network guided interpolation for mapping canopy height of China's forests by integrating GEDI and ICESat-2 data. *Remote Sens Environ.* 2022;269:112844.
33. Liu Y, Holm JA, Koven CD et al. Large divergence of projected high latitude vegetation composition and productivity due to functional trait uncertainty. *Earth's Future.* 2024;12:e2024EF004563.
34. Luyssaert S, Schulze ED, Börner A et al. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature.* 2008;455:213-5.
35. Maltamo M, Kinnunen H, Kangas A et al. Predicting stand age in managed forests using National Forest Inventory field data and airborne laser scanning. *Forest Ecosyst.* 2020;7:44.
36. Maltman JC, Hermosilla T, Wulder MA et al. Estimating and mapping forest age across Canada's forested ecosystems. *Remote Sens Environ.* 2023;90:113529.
37. Pan YD, Chen JM, Birdsey R et al. Age structure and disturbance legacy of North American forests. *Biogeosciences.* 2011;8:715-32.
38. Panagiotidis D, Abdollahnejad A, Surový P et al. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *Int J Remote Sens.* 2017;38(8-10):2392-410.
39. Poorter L, Bongers F, Aide TM et al. Biomass resilience of neotropical secondary forests. *Nature.* 2016;530:211-4.
40. Racine EB, Coops NC, St-Onge et al. Estimating forest stand age from LiDAR-derived predictors and nearest neighbor imputation. *Forest Sci.* 2014;60:128-36.
41. Schumacher J, Hauglin M, Astrup R et al. Mapping forest age using national forest inventory, airborne laser scanning, and Sentinel-2 data. *Forest Ecosyst.* 2020;7(1):60.
42. Smolina A, Illarionova S, Shadrin D et al. Forest age estimation in northern Arkhangelsk region based on machine learning pipeline on Sentinel-2 and auxiliary data. *Sci Rep.* 2023;13:22167.
43. Sun C, Cao S, Sanchez-Azofeifa GA. Mapping tropical dry forest age using airborne waveform LiDAR and hyperspectral metrics. *Int J Appl Earth Observ Geoinf.* 2019;83:101908.
44. Umemi K, Inoue A. A model for predicting mean diameter at breast height from mean tree height and stand density. *J Forest Res.* 2024;29(3):186-95.
45. Van Laar A, Akca A. *Forest Mensuration.* Göttingen: Cuvillier Verlag; 1997.
46. Vastaranta M, Niemi M, Wulder MA et al. Forest stand age classification using time series of photogrammetrically derived digital surface models. *Scand J Forest Res.* 2016;31:194-205.
47. Vega C, St-Onge B. Height growth reconstruction of a boreal forest canopy over a period of 58 years using a combination of photogrammetric and lidar models. *Remote Sens Environ.* 2008;112(4):1784-94.
48. Xia J, Xia X, Chen Y et al. Reconstructing long-term forest age of China by combining forest inventories, satellite-based forest age and forest cover data sets. *J Geophys Res Biogeosci.* 2023; 128:e2023JG007492.
49. Yang X, Liu Y, Wu Z et al. Forest age mapping based on multiple-resource remote sensing data. *Environ Monit Assess.* 2020;192:734.
50. Yu G, Chen Z, Piao S et al. High carbon dioxide uptake by subtropical forest ecosystems in the East Asian monsoon region. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2014;111:4910-5.
51. Yu Z, Zhao H, Liu S et al. Mapping forest type and age in China's plantations. *Sci Total Environ.* 2020;744:140790.
52. Zhang C, Ju W, Chen JM et al. Mapping forest stand age in China using remotely sensed forest height and observation data. *J Geophys Res Biogeosci.* 2014;119:1163-79.
53. Zhang Y, Yao Y, Wang X et al. Mapping spatial distribution of forest age in China. *Earth Space Sci.* 2017;4:108-16.

ОСОБЕННОСТИ ГУМУСА ПОЧВ ЗОЛОТВАЛОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

О.А. Некрасова*¹, А.П. Учаев¹, М.И. Дергачева²,
А.А. Бетехтина¹, Т.А. Радченко¹

¹ ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

* Эл. почта: o_nekr@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03.10.2024; принята к печати 28.10.2024

Изучен состав гумуса молодых почв, формирующихся на золе – специфическом техногенном субстрате, занимающем большие площади на Урале и в других регионах. Исследованы самопроизвольно заросшие смешанным лесом в южнотаежных условиях Среднего Урала участки 50–60-летних бурогольных золоотвалов двух электростанций, сложенные золой различного химического состава. Сформировавшиеся на разных золоотвалах эмбриоземы различаются между собой физико-химическими характеристиками и отличаются от фоновых почв более щелочной реакцией среды и более высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Установлено, что формирование системы гумусовых веществ в молодых почвах на зольном субстрате и в зональных дерново-подзолистых почвах протекает одинаково – с преобладанием синтеза фульвокислот над гуминовыми кислотами, среди которых преобладают наиболее подвижные (бурые) гуминовые кислоты и связанные с ними фульвокислоты. Но количественные показатели состава гумуса дерново-подзолистых почв за рассматриваемый отрезок времени не достигнуты. Отличия свойств зольного субстрата проявляются в особенностях фракционного состава гумуса, в первую очередь в горизонте С. Сделан вывод, что групповой состав гумуса молодых почв, формирующихся на золе, обусловлен биоклиматическими условиями, в то время как фракционный состав каждой группы определяется особенностями зольного субстрата.

Ключевые слова: зола уноса, эмбриозем, гуминовые кислоты, фульвокислоты, южная тайга.

SPECIFIC FEATURES OF ASH DUMP SOILS HUMUS IN THE MIDDLE URALS

O.A. Nekrasova*¹, A.P. Uchaev¹, M.I. Dergacheva², A.A. Betekhtina¹, T.A. Radchenko¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg,

² Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk

* Email: o_nekr@mail.ru

Humus composition in young soils formed on ash, a specific technogenic substrate, which occupies large areas of Urals and other regions in Russia, has been studied. Soil samples differing in their chemical composition were taken from 50- to 60-year old brown coal ash dumps spontaneously overgrown by mixed forests at two power plants located in the southern taiga of the Middle Urals. Newly formed soils at different ash dumps differ from each other in their physicochemical characteristics and differ from the background soils by a more alkaline reaction of their milieu and a higher content of the mobile forms of phosphorus and potassium. The results of the study suggest that the system of humus substances develops in similar ways in young soils and in zonal sod-podzol soils on ash substrate. Fulvic acids synthesis dominates over humic acids synthesis. Among the latter, the most mobile (brown) humic acids and associated fulvic acids prevail, although the quantitative indicators of humus composition specific for sod-podzol soils were not achieved during the time under consideration. Differences in the properties of the ash substrate are manifested in the fractional composition of humus, mainly in the C-horizon. These observations suggest that the group composition of humus in young soils formed on ash depends on the bioclimatic conditions, whereas the fractional composition of each group depends on the characteristics of the ash substrate.

Keywords: fly ash, Technosols, humic acids, fulvic acids, southern taiga.

Введение

Почвенный гумус выполняет важнейшие экологические функции. Прежде всего он является хранителем питательных веществ и служит основным источником энергии для растений и микроорганизмов. Также, благодаря относительно высокой химической

стабильности гумусовых веществ и устойчивости к биологическому разложению, почвы служат важнейшим долговременным стоком атмосферного CO₂ и содержат в метровом слое около 1500 Гг углерода [24]. В связи с этим показатели содержания и состава гумусовых веществ являются крайне важными, поскольку

обуславливают как процесс почвообразования, так и состояние почв. Они активно исследуются в почвах разных природных зон [17, 18, 21], а также почвах сельскохозяйственного использования [3, 9, 10, 12, 19, 22, 29]. В последние десятилетия в результате антропогенной деятельности увеличиваются площади, занимаемые техногенными субстратами, такими как зола. Она представляет собой остаток, образующийся при сжигании твердого топлива из присутствующих в нем минеральных примесей, состав и свойства которого могут иметь свои особенности в зависимости от источника угля, а также используемой технологии. При заселении живыми организмами зола становится субстратом для почвообразования, которое активно изучается [11, 14, 31–37]. Однако данные о составе гумуса почв, формирующихся на зольном субстрате, который может отличаться значимыми для синтеза и накопления в почве гумусовых веществ свойствами от горных пород, практически отсутствуют. В то же время установление специфики гумуса почв, формирующихся на техногенном субстрате, может послужить для оценки вклада свойств почвообразующей породы в процесс гумусообразования, а также для выявления его направленности.

Настоящее исследование посвящено установлению особенностей гумуса сформированных на нерекультивированных участках 50–60-летних золоотвалах почв под лесными сообществами в южнотаежных условиях Среднего Урала (на примере золоотвалов Верхнетагильской и Среднеуральской электростанций).

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось на золоотвалах Верхнетагильской и Среднеуральской государственных районных электростанциях (ВТГРЭС и СУГРЭС соответственно) в Свердловской области, на Среднем Урале (рис. 1).

Золоотвал ВТГРЭС занимает площадь 125 га, золоотвал СУГРЭС – 192 га. Оба объекта сложены золой уноса бурых углей: первый – из Челябинского и Богословского месторождений, второй – из Челябинского и Экибастузского месторождений [30] и имеют выровненную поверхность и близкий возраст, составляющий 50–60 лет. Расстояние между ними составляет 53 км.

Исследуемые золоотвалы находятся в бореальной умеренно-континентальной климатической области, в подзоне южной тайги. Среднегодовая температу-



Рис. 1. Расположение объектов исследования: 1 – золоотвал Верхнетагильской ГРЭС; 2 – золоотвал Среднеуральской ГРЭС

ра воздуха территории расположения золоотвалов составляет 1,9–2,2 °С, годовая сумма осадков равна 600–660 мм [25, 26].

Ко времени проведения исследования на нерекультивированных участках золоотвалов самопроизвольно сформировались смешанные лесные сообщества с доминированием березы (*Betula pendula* Roth) и осины (*Populus tremula* L.), на золоотвале ВТГРЭС возраст древесных растений составлял 40 лет, на СУГРЭС – 50 лет [31, 32]. Изучение видового состава флоры и растительности лесных участков отвалов выявило близость некоторых показателей, в частности сомкнутости крон, запаса биомассы травяно-кустарничкового яруса и общего флористического богатства. Однако по многим признакам (высота древесного яруса, степень развития напочвенных ярусов, видовая насыщенность и другие) растительные сообщества различаются, что связано, очевидно, не только с разным временем их формирования, но и с отличиями в характеристиках зольного субстрата.

Морфологический анализ поверхности золоотвалов под лесными сообществами позволил выявить начальные этапы почвообразования, проявляющиеся в наличии горизонта подстилки (O) мощностью от 0,5 до 2 см (на золоотвале СУГРЭС – дополнительно грубогумусового горизонта АТ мощностью 2,5 см), а также светлогумусового горизонта АУ мощностью 5–7 см, отличающегося от подстиляющего сизовато-серого зольного субстрата (горизонт С) более серой окраской и наличием слабой структуры. Молодые почвы, формирующиеся на золоотвалах, классифицированы нами как эмбриоземы согласно [4] и как техносоли (technosols) в соответствии с [28].

На расстоянии 2–7 км от золоотвалов были также изучены фоновые почвы, которые на основании набора генетических горизонтов О–А–Е–В–ВС–С были отнесены к дерново-подзолистым [23] или Retisols [28].

В образцах почв, отобранных из трех разрезов на каждом лесном участке, были определены следующие

физико-химические показатели: содержание общего органического углерода ($C_{орг.}$) – по Тюрину; общего азота ($N_{общ.}$) – по Кьельдалю, с применением оборудования Velp (Италия); значения рН измерялись на рН-метре Anion 4100 (Россия); содержание подвижного фосфора (P_2O_5) определялось по Кирсанову с использованием спектрофотометра UV Probe-1650 (Япония), подвижного калия (K_2O) – с применением пламенного фотометра PFA-378 (Россия), обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} – титриметрически [1, 2]. Качественный состав гумуса изучался по модифицированной методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [16].

Для удобства сопоставления свойств почв золоотвалов и фоновых почв были рассчитаны средневзвешенные характеристики исследуемых показателей для верхней 20-сантиметровой толщи, поскольку, как было показано ранее [13], процессы начального почвообразования охватывают преимущественно эту часть почвообразующих пород.

Гумусовые профилограммы были построены согласно [6], с использованием программы Originpro 2018.

Результаты и обсуждение

В валовом составе золы уноса ВТГРЭС и СУГРЭС преобладают оксиды кремния и алюминия (таблица 1), следующими по количеству являются оксиды железа. Содержание оксидов кальция и магния в золе ВТГРЭС при сравнении с золой СУГРЭС выше в 1,6 и 3,1 раза соответственно, количества остальных соединений сопоставимы. Зола отличается от наиболее распространенных почвообразующих пород Среднего Урала меньшим содержанием SiO_2 и, в соответствии с подходами к горным породам, является менее кислой. Ранее было установлено, что в гранулометрическом составе золы уноса изучаемых золоотвалов преобладает фракция мелкого песка и (или) крупной пыли [31, 32].

Средневзвешенные для 20-сантиметровой толщи физико-химические характеристики молодых почв,

Табл. 1

Валовой состав золы ВТГРЭС и СУГРЭС и некоторых горных пород Среднего Урала (%)

| Оксид | Объект | | | |
|-----------|--------------|------------------|------------------|-------------|
| | Зола ВТГРЭС* | Зола СУГРЭС [27] | Гранодиорит [15] | Гранит [15] |
| SiO_2 | 58,9 | 48,9 | 63–68 | 68–73 |
| Al_2O_3 | 18,2 | 37,6 | 12–17 | 12,0–15,5 |
| Fe_2O_3 | 9,9 | 5,4 | 0,5–3,0 | 0,5–2,5 |
| CaO | 4,3 | 2,7 | 3,0–6,0 | 1,5–4,0 |
| MgO | 2,8 | 0,9 | 0,5–3,5 | 0,1–1,5 |
| K_2O | 1,2 | 1,0 | 1,5–4,0 | 0,5–3,0 |
| Na_2O | 3,1 | 2,1 | 2,5–4,0 | 3,0–6,0 |
| TiO_2 | 1,2 | 1,1 | 0,2–1,0 | 0,1–0,6 |
| P_2O_5 | 0,3 | 0,3 | Не опр. | Не опр. |

* Рассчитано по данным элементного состава, предоставленного администрацией ВТГРЭС.

сформировавшихся за 50–60 лет на золоотвалах ВТГРЭС и СУГРЭС (таблица 2), указывают на их различия по нескольким изученным показателям (значению рН, содержанию общего азота, а также подвижных форм фосфора и калия), которые существенно выше на первом объекте. Неоднородность эмбриоземов лесных участков золоотвалов по физико-химическим свойствам, по всей видимости, обусловлена различиями свойств исходной золы, которая служит для них почвообразующей породой, а также разными возможностями перехода соединений зольного субстрата в подвижные формы.

Почвы, формирующиеся в лесных сообществах золоотвалов, по сравнению с почвами естественных лесов (фоновыми почвами), имеют (таблица 2) более щелочную реакцию среды и содержат в несколько раз больше подвижных форм фосфора и калия, при этом почвы золоотвала СУГРЭС характеризуются более низким содержанием общего азота.

Поскольку в исходной золе присутствуют несгоревшие частицы угля, с которыми связано относительно высокое содержание органического углерода в зольном субстрате, прежде всего рассмотрим состав гумусовых веществ собственно золы, не охваченной процессами почвообразования. Он приведен на примере золы молодого золоотвала ВТГРЭС, отобранной в не-

скольких повторностях на глубине 20–40 см на недавно освободившемся от воды технического пруда участке (таблица 3).

Качественный состав гумуса золы характеризуется крайне низким содержанием экстрагируемых веществ – гуминовых кислот и фульвокислот и, соответственно, высокой долей негидролизованного остатка, составляющей 98–99%. Во фракционном составе гуминовых кислот преобладают прочно связанные с устойчивыми полуторными оксидами (ГК3), меньшее представительство имеют связанные с кальцием (ГК2), в минимальных количествах присутствуют свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами (ГК1). Фульвокислоты, связанные с гуминовыми кислотами разных фракций, образуют по убыванию содержания аналогичный ряд: ФК3>ФК2>ФК1. Гумус, присутствующий в зольном субстрате, соответствует фульватному типу.

В связи с высоким сходством показателей состава гумуса молодых почв отдельного исследуемого золоотвала на рис. 2 (А, Б) представлены усредненные данные по трем разрезам. Суммарное содержание гуминовых кислот во всех разрезах увеличивается от горизонта подстилки (10–14%) к нижерасположенному горизонту АУ или АТ (13–19%) и далее резко сокращается в горизонте С, где оно не превышает 5%.

Табл. 2

Пределы варьирования средневзвешенных физико-химических характеристик эмбриоземов золоотвалов (n = 3) и фоновых почв (n = 3)

| Показатель | Почва, 0–20 см | | |
|--|------------------|------------------|-----------|
| | Золоотвал ВТГРЭС | Золоотвал СУГРЭС | Фон |
| рН | 5,83–7,03 | 5,12–5,50 | 4,47–5,15 |
| C _{орг.} , % | 4,26–5,59 | 3,96–5,76 | 4,08–7,97 |
| N _{общ.} , % | 0,24–0,32 | 0,11–0,16 | 0,18–0,29 |
| Ca ²⁺ , ммоль/100 г | 0,8–3,1 | 1,9–2,9 | 1,7–2,7 |
| Mg ²⁺ , ммоль/100 г | 0,4–1,5 | 0,9–1,5 | 0,7–1,5 |
| P ₂ O ₅ , мг/100 г | 22,9–26,3 | 14,7–23,8 | 0,6–2,0 |
| K ₂ O, мг/100 г | 17,4–27,6 | 7,6–10,1 | 3,1–5,8 |

Табл. 3

Качественный состав гумуса (% к C_{общ.}) золы ВТГРЭС

| № | C _{орг.} , % | Гуминовые кислоты | | | Фульвокислоты | | | | Гумины | C _{ГК} :C _{ФК} |
|---|-----------------------|-------------------|------|------|---------------|------|------|------|--------|----------------------------------|
| | | ГК1 | ГК2 | ГК3 | ФК1а | ФК1 | ФК2 | ФК3 | | |
| 1 | 4,61 | 0,04 | 0,05 | 0,13 | 0,02 | 0,14 | 0,35 | 0,46 | 98,84 | 0,22 |
| 2 | 3,92 | 0,03 | 0,10 | 0,20 | 0,03 | 0,20 | 0,26 | 0,77 | 98,45 | 0,26 |
| 3 | 4,10 | 0,03 | 0,13 | 0,19 | 0,05 | 0,14 | 0,21 | 0,92 | 98,38 | 0,28 |

В верхних горизонтах (рис. 2 А, Б) преобладают бурые ГК, их средневзвешенная доля среди гуминовых кислот составляет для золоотвалов ВТГРЭС и СУГРЭС соответственно 48% и 57%, на долю следующей по представительству фракции прочно связанных с устойчивыми полуторными оксидами ГК приходится 37% и 40%, доля связанных с кальцием ГК минимальна и равна 15% и 3%. В горизонте С эмбриоземов изучаемых золоотвалов фракционный состав гуминовых кислот различается: на золоотвале ВТГРЭС доминируют черные ГК, на которые приходится 63% суммы ГК; на золоотвале СУГРЭС преобладают бурые ГК, составляющие 60% суммы ГК.

Фульвокислоты распределены по профилю исследуемых почв аналогично гуминовым кислотам (рис. 2 А, Б) с максимумом в горизонтах под подстилкой (24–25%) и минимумом в горизонте С (13%). Среди ассоциированных с гуминовыми кислотами фульвокислот (таблица 4) в составе гумуса преобладают связанные с бурыми гуминовыми кислотами ФК1, но в горизонте С молодых почв золоотвала ВТГРЭС преобладают фульвокислоты, связанные с черными гуминовыми кислотами.

Неэкстрагируемые гумусовые вещества в наименьших количествах (56–63%) содержатся в составе гумуса горизонтов А или АТ, в наибольших (82–94%) – в горизонте С.

Гумус подстилки имеет гуматно-фульватный состав (значения интегрального показателя соотношения углерода гуминовых кислот и фульвокислот составляют 0,83–0,86). В горизонте А тип гумуса гуматно-фульватный в почвах золоотвала ВТГРЭС или фульватный в почвах золоотвала СУГРЭС (С_{гк}:С_{фк} равно 0,54 и 0,31 соответственно). В горизонте С гумус фульватный, при этом значения С_{гк}:С_{фк} в эмбриоземах золоотвала ВТГРЭС составляют 0,40, в то время как в эмбриоземах золоотвала СУГРЭС они значительно ниже и в среднем равны 0,16.

Таким образом, несмотря на имеющиеся различия по вещественному составу между исходным зольным субстратом и молодыми почвами исследуемых золоотвалов, формирующиеся в них системы гумусовых веществ [7, 8] обладают сходными показателями долевого соотношения основных групп. Различия гумуса почв разных золоотвалов касаются фракционного состава, в котором на золоотвале ВТГРЭС при сравнении с золоотвалом СУГРЭС фракции черных гуминовых кислот (ГК2) и связанных с ними фульвокислот (ФК2) имеют большее представительство, а в горизонте С даже преобладают.

В составе гумуса почв 50–60-летних золоотвалов по сравнению с таковым углей зольного субстрата (таблица 3, рис. 2) содержится значительно меньше негидролизующих гумусовых веществ и больше – экстрагируемых гуминовых кислот и фульвокислот. Среди последних преобладают фракции бурых гуминовых кислот (ГК1) и связанных с ними фульвокислот (ФК1), в то время как в зольном субстрате преобладают фракции связанных с кальцием гуминовых кислот (ГК2) и ассоциированных с ними фульвокислот (ФК2).

При сравнении с преобладающими на прилегающих к золоотвалам территориях дерново-подзолистыми почвами, состав гумуса которых был обобщен для Среднего Урала по собственным и литературным [5, 20] данным (рис. 2 В, $n = 7$), гумусовые вещества, сформировавшиеся в эмбриоземах на самозарастающих участках 50–60-летних золоотвалов под смешанными лесами (рис. 2 А, Б), характеризуются значительно более низким содержанием экстрагируемых гумусовых кислот (ГК и ФК) и, соответственно, большей долей гуминов. В то же время в верхних горизонтах эмбриоземов пропорции отдельных фракций гуминовых кислот и фульвокислот близки к таковым в фоновых почвах – преобладают свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами ГК1 и связанные с ними ФК1. Кроме того, значения интег-

Табл. 4

Фракционный состав фульвокислот (% к сумме С_{фк}) молодых почв золоотвалов

| Горизонт | Глубина | ФК1а | ФК1 | ФК2 | ФК3 |
|--|---------|------|------|------|------|
| <i>Эмбриозем золоотвала ВТГРЭС (n = 3)</i> | | | | | |
| О | 0–2 | 12,9 | 75,0 | 2,4 | 9,7 |
| АУ | 2–7 | 13,8 | 43,1 | 33,9 | 9,2 |
| С | 7–20 | 11,7 | 23,4 | 52,3 | 12,5 |
| <i>Эмбриозем золоотвала СУГРЭС (n = 3)</i> | | | | | |
| О | 0–0,5 | 9,3 | 76,4 | 0,6 | 13,7 |
| АТ | 0,5–3 | 7,5 | 68,8 | 0,8 | 22,9 |
| АУ | 3–10 | 18,1 | 66,9 | 3,1 | 11,8 |
| С | 10–20 | 9,4 | 67,2 | 3,1 | 20,3 |

рального показателя гумуса эмбриоземов золоотвалов (Сгк:Сфк), как и дерново-подзолистых почв, составляют меньше 1.

Заключение

Исследованы особенности гумуса почв, формирующихся на выровненных участках золоотвалов Среднего Урала близкого возраста, расположенных в сходных климатических условиях в подзоне южной тайги под самопроизвольно сформировавшимися однотипными сообществами смешанных лесов.

Полученные материалы позволили заключить, что формирование системы гумусовых веществ в эмбриоземах на золе близкого гранулометрического состава, различающейся рядом химических свойств, в целом протекает единообразно, с преобладанием синтеза фульвокислот над синтезом гуминовых кислот. В верхних горизонтах в составе экстрагируемых гумусовых веществ преобладают свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами гуминовые кислоты и связанные с ними фульвокислоты. Влияние особенностей породы через 50–60 лет почвообразования проявляется главным образом в горизонте С, который в случае нейтральной реакции среды

в почве золоотвала ВТГРЭС характеризуется специфичностью фракционного состава гумуса, проявляющейся в преобладании связанных с кальцием гуминовых кислот и ассоциированных с ними фульвокислот.

Несмотря на отличия вещественного состава молодых почв золоотвалов от фоновых дерново-подзолистых почв, связанные главным образом с более щелочной реакцией среды и лучшей обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия первых, процесс гумусообразования протекает в них в том же направлении, что и в зональных почвах, однако количественные показатели состава гумуса дерново-подзолистых почв за рассматриваемый отрезок времени эмбриоземами не достигнуты.

Таким образом, групповой состав гумуса изученных молодых почв, формирующихся на техногенном зольном субстрате, обусловлен биоклиматическими условиями, в то время как его фракционный состав определяется особенностями почвообразующей породой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-24-20010) <https://rscf.ru/en/project/24-24-20010/> и Правительства Свердловской области

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Аринушкина ЕВ. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ; 1970.
2. Воробьева ЛА. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС; 2006.
3. Воропаева ЕВ, Воропаев ВВ. Изменение содержания и качественного состава гумуса окультуренной дерново-подзолистой почвы в различных системах удобрения овощного севооборота. Агрехимия. 2019;(12):32-8.
4. Гаджиев ИМ, Курачев ВМ. Генетические и экологические аспекты исследования и классификация почв техногенных ландшафтов. В кн.: Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука; 1992. С. 6-15.
5. Гафуров ФГ. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета; 2008.
6. Дергачева МИ. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука; 1984.
7. Дергачева МИ. Система гумусовых веществ почв. Новосибирск: Наука; 1989.
8. Дергачева МИ. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН; 2018.
9. Ерёмин ДИ, Груздева НА, Ерёмин ДВ. Изменение гумусового состояния серых лесных почв восточной окраины Зауралья плато под действием длительной распашки. Почвоведение. 2018;(7):826-35.
10. Иванова МВ, Солдатов ПА, Плотников АА. Влияние длительного использования различных систем удобрений на динамику гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой почвы Костромской области. Агрехимический вестник. 2020;(3):11-5.
11. Константинов АО, Новоселов АА, Лойко СВ. Особенности процессов почвообразования на участках самозарастающих золоотвалов твердотопливной теплоэлектростанции. Вестн ТГУ Биол. 2018;43:6-24.
12. Матвеева НИ, Петров НЮ, Зволинский ВП. Групповой и фракционный состав гумуса почв солонцовых комплексов овощных севооборотов Нижнего Поволжья (на примере светло-каштановых почв севера Астраханской области и каштановых почв юга Вол-

- гоградской области). Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020;6(86):76-81.
13. Махонина ГИ. Экологические аспекты формирования почв в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2003.
 14. Новоселов АА. Индикаторы почвообразования на техногенных субстратах золоотвалов. Российский журнал прикладной экологии. 2019;(3):46-50.
 15. Петрографический кодекс. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ; 2008.
 16. Пономарева ВВ, Плотникова ТА. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л.: Наука; 1975.
 17. Раупова НБ, Абдуллаев СА. Состав и свойства гумуса почв вертикальной зональности Западного Тянь-Шаня и их смытых разностей. Научное обозрение. Биологические науки. 2019;(2):63-8.
 18. Ташкузиев ММ, Шадиева НИ. Состав гумуса, гумусное состояние почв вертикальной зональности бассейна реки Санзар и изменение его под влиянием противэрозионных процессов. Почвоведение и агрохимия. 2020;(3):25-33.
 19. Турусов ВИ, Сальников РВ. Изменение микрофлоры и состава гумуса почвы в зависимости от звена севооборота. Центральный научный вестник. 2019;4(3):20-1.
 20. Фирсова ВП, Дергачева МИ, Павлова ТС, Новгородова ГГ, Степанов СБ. Особенности горно-лесных почв Южного Урала. В кн.: Особенности горного почвообразования под пологом лесов. Свердловск, 1978. С. 62-99.
 21. Хижняк ИН. Особенности гумусного состояния аллювиально-луговых почв левобережной лесостепи Украины. Почвоведение и агрохимия. 2019;(1):39-49.
 22. Чеботарев НТ, Микушева ЕН, Мушинский АА. Влияние минеральных удобрений и известки на фракционно-групповой состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвы среднетаежной зоны Республики Коми. Агрехимический вестник. 2019;(6):9-12.
 23. Шишов ЛЛ, Тонконогов ВД, Лебедева ИИ, Герасимова МИ. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена; 2004.
 - cal analysis of soils]. Moscow: GEOS; 2006. (In Russ.)
 3. Voropaeva EV, Voropaev VV. [Changes of humus content and humus composition of Sod-Podzolic soil in vegetable crop rotation at different fertilizer application]. Agrohimiya. 2019;(12):32-8. (In Russ.)
 4. Gadzhiev IM, Kurachev VM. [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. In: Ekologiya i rekul'tivaciya tekhnogennyh landshaftov. Nauka, Sib. otdenie; 1992. p. 6-15. (In Russ.)
 5. Gafurov FG. Pochvy Sverdlovskoj oblasti. [Soils of the Sverdlovsk region]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta; 2008. (In Russ.)
 6. Dergacheva MI. Organicheskoe veshchestvo pochv: statika i dinamika. [Soil organic matter: statics and dynamics]. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1984. (In Russ.)
 7. Dergacheva MI. Sistema gumusovyh veshchestv pochv. [The system of humic substances of soils]. Novosibirsk: Nauka, 1989. (In Russ.)
 8. Dergacheva MI. Sistema gumusovyh veshchestv kak osnova diagnostiki paleopochv i rekonstrukcii paleoprirodnoj sredy. [The system of humus substances as the basis for the diagnosis of paleosols and reconstruction of the paleoenvironment]. Novosibirsk: Izdatel'stvo Sibirskogo otdeleniya RAN, 2018. (In Russ.)
 9. Eremin DI, Gruzdeva NA, Eremina DV. [The change in the humus state of gray forest soils of the Eastern outskirts of the Trans-Ural plateau under the influence of prolonged plowing]. Pochvovedenie. 2018;(7):826-35. (In Russ.)
 10. Ivanova MV, Soldatov PA, Plotnikov AA. [Influence of long-term use of fertilizers on the dynamics of humus in the arable layer of soddy-podzolic soil of the Kostroma region]. Agrohimicheskij vestnik. 2020;(3):11-5. (In Russ.)
 11. Konstantinov AO, Novoselov AA, Loiko SV. [Special features of soil development within overgrowing ash deposit sites at a solid fuel power plant]. Vestnik TGU. Biologiya. 2018;43:6-24. (In Russ.)
 12. Matveyeva NI, Petrov NY, Zvolinsky VP. [Group and fractional composition of humus in soils of solonetz complexes of vegetable crop rotations in the Lower Volga region (exemplified with light brown soils in the north of the Astrakhan region and brown soils in the north of the Astrakhan region and brown soils in the south of the Volgograd region)]. Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2020;6(86):76-81. (In Russ.)
 13. Makhonina GI. Ekologicheskiye Aspekty Formirovaniya Pochv v Tekhnogennykh Eko-

Общий список литературы/Reference List

1. Arinushkina EV. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. [Guidelines for chemical analysis of soils]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta; 1970. (In Russ.)
2. Vorob'eva LA. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. [Theory and practice of chemi-

- sistemakh Urala. [Ecological Aspects of Soil Formation in Anthropogenic Ecosystems of the Urals]. Yekaterinburg: Izdatelstvo Uralskogo Universiteta; 2003. (In Russ.)
14. Novoselov AA. [Indicators of soil formation on the technogenic substrates of ash dumps]. *Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii*. 2019;(3):46-50. (In Russ.)
 15. Petrograficheskiy Kodeks. [Petrographic Code]. Saint-Petersburg: Izdatelstvo VSEGEI; 2008. (In Russ.)
 16. Ponomareva VV, Plotnikova TA. Metodicheskiye Ukazaniya po Opredeleniyu Soderzhaniya i Sostava Gumusa v Pochvakh. [Guidelines for Determining the Content and Composition of Humus in Soils]. Leningrad: Nauka; 1975. (In Russ.)
 17. Raupova NB, Abdullayev SA. [Composition and properties of humus soils across vertical zones of the Western Tien Shan and their washed differences]. *Nauchnoye Obozreniye Biologicheskoye Nauki*. 2019;(2):63-8. (In Russ.)
 18. Tashkuziyev MM, Shadiyeva NI. [Humus composition, humus state of soils across vertical zones of River Sanzar basin and its change under the influence of anti-erosion processes]. *Pochvovedeniye i Agrokhimiya*. 2020;(3):25-3. (In Russ.)
 19. Turusov VI, Salnikov RV. [Changes in microflora and group composition of soil humus depending on the level of crop rotation]. *Centralnyi Nauchnyi Vestnik*. 2019;4(3):20-1. (In Russ.)
 20. Firsova VP, Dergacheva MI, Pavlova TS, Novgorodova GG, Stepanov SB. [Specific feature of the mountain forest soils of South Urals]. In: *Osobennosti Gornogo Pochvoobrazovaniya pod Pologom Lesov. Sverdlovsk*; 1978. P. 62-99. (In Russ.)
 21. Khyzhniak IN. [The humus state and its features in the alluvial-floodplain soils of the left-bank forest-steppe in Ukraine]. *Pochvovedeniye i Agrokhimiya*. 2019;(1):39-49. (In Russ.)
 22. Chebotarev NT, Mikusheva EN, Mushinsky AA. [Influence of mineral fertilizers and lime on fractional-group composition and balance of humus in the soddy-podzolic soil of the Middle taiga in the Komi Republic]. *Agrokhimicheskii Vestnik*. 2019;(6):9-12. (In Russ.)
 23. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. *Klassifikatsiya i Diagnostika Pochv Rossii*. [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk: Oykumena; 2004. (In Russ.)
 24. Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur J Soil Sci*. 2014;65:4-21.
 25. Climate-Data.org. Climate Data for Cities Worldwide. <https://en.climate-data.org/asia/russian-federation/sverdlovsk-oblast/sredne-uralsk-44950/> (accessed on 27 August 2024).
 26. Climate-Data.org. Climate Data for Cities Worldwide. Available online: <https://en.climate-data.org/asia/russian-federation/sverdlovsk-oblast/verkhny-tagil-45250/> (accessed on 27 August 2024).
 27. Dergacheva M, Trunova V, Nekrasova O, Siromlya T, Uchaev A, Bazhina N, Radchenko T, Betekhtina A. Assessment of the macro- and microelement composition of fly ash from 50-year-old ash dumps in the Middle Urals (Russia). *Metals*. 2021;11:1-15.
 28. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS); 2022.
 29. Ivanov P, Banov M. Comparative characteristics of soil organic matter in technosols built with different geological materials and agricultural land use. *Bulg J Agric Sci*. 2020;26(2):293-8.
 30. Lukina NV, Filimonova EI, Glazyrina MA, Maleva MG, Prasad MNV, Chibrik TS. Biological recultivation of fly ash dumps strengthening bioeconomy and circular economy in the Ural region of Russia. In: *Bioremediation and Bioeconomy: a Circular Economy Approach*. Chapter 19. Elsevier BV; 2024. P. 499-527.
 31. Nekrasova O, Radchenko T, Filimonova E, Lukina N, Glazyrina M, Dergacheva M, Uchaev A, Betekhtina A. Natural forest colonization and soil formation on ash dump in southern taiga. *Folia Forestalia Polonica Ser A Forestry*. 2020;62(4):306-16.
 32. Nekrasova O, Radchenko T, Filimonova E, Uchaev A, Dergacheva M, Petrova T, Betekhtina A. Features of forest communities and soils formed on an ash dump of the Middle Urals. *Forest Ideas*. 2022;28(1):88-99.
 33. Pandey VC, Singh N. Fast green capping on coal fly ash basins through ecological engineering. *Ecol Eng*. 2014;73:671-5.
 34. Uzarowicz L, Zagorski Z. Mineralogy and chemical composition of technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from selected thermal power stations in Poland. *Soil Sci Annu*. 2015;66(2):82-91.
 35. Uzarowicz L, Zagorski Z, Mendak E, Bartminski P, Szara E, Kondras M, Oktaba L, Turek A, Rogozinski R. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part I. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis. *Catena*. 2017;157:75-89.

36. Uzarowicz L, Kwasowski W, Spiewak O, Switoniak M. Indicators of pedogenesis of Technosols developed in an ash settling pond at the Belchatow thermal power station (central Poland). *Soil Sci Annu.* 2018;69:49-59.
37. Uzarowicz L, Skibab M, Leuc M, Zagórska Z, Gąsiński A, Trzcíński J. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part II. Mineral transformations and soil evolution. *Catena.* 2018;162:255-69.



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ВЕРХНЕГО ПРИАНГАРЬЯ С УЧЕТОМ НОВОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

И.А. Белозерцева*, **Д.Н. Лопатина**, **Н.А. Зверева**,
А.А. Черкашина, **Н.А. Скосырский**

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

* E-mail: belozia@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.07.2024; принята к печати 25.11.2024

По итогам работ, проведенных авторами в 2023–2024 годах, в статье описаны использование и уровень плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения в Черемховском районе Иркутской области. Площадь сельскохозяйственных земель в районе составляет 21%, из них около половины не используется, заброшено с 1990-х годов. Установлено, что несмотря на относительно хорошие климатические условия (сумма активных температур и др.) почвы большей части территории по основным агрофизическим и агрохимическим показателям (плотность, содержание фракции «физической глины», гумуса, нитратов, агрономически ценных агрегатов, подвижного фосфора и калия) оцениваются как «удовлетворительные» (иногда «неудовлетворительные» и «плохие», редко «хорошие»). «Отличное» состояние почв наблюдается на фоновых нетронутых хозяйственной деятельностью человека территориях. По таким агрофизическим показателям, как «плотность», содержание фракции физической глины и агрономически ценных агрегатов почвы являются в основном «неудовлетворительными» и «плохими» для использования их в целях выращивания агрокультур, что в основном обусловлено породами. Имеется необходимость в применении агротехнических мероприятий. Почвы используемых пашен около ряда населенных пунктов нуждаются во внесении минеральных калийных и фосфорных удобрений, реже – азотных (минеральных или органических). Имеется резерв сельскохозяйственных земель для использования в виде заброшенных угодий, но и они нуждаются в агрономических, агрохимических, агротехнических и других мероприятиях (севообороты, посев многолетних трав, углубление пахотного слоя, рыхление, органические и минеральные удобрения), так как почвы еще недостаточно восстановились.

Ключевые слова: почвы, показатели плодородия, сельскохозяйственное использование, Черемховский район Иркутской области.

ASSESSMENT OF THE QUALITY AND USE OF THE LANDS OF THE UPPER ANGARA REGION WITH ACCOUNT FOR A NEW INTEGRAL INDEX OF SOIL FERTILITY

I.A. Belozertseva*, **D.N. Lopatina**, **N.A. Zvereva**, **A.A. Cherkashina**, **N.A. Skosyrsky**
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

* E-mail: belozia@mail.ru

Based on the results of studies carried out in 2023–2024, the use of soil and the level of soil fertility in the agricultural areas of Cheremkhovsky District of Irkutsk Region are characterized. Agricultural lands make 21% of the total area of the District. About half of the lands is not used. Despite favorable climatic conditions the soils of the major part of the territory under study are not more than satisfactory (sometimes unsatisfactory or poor and rarely good) according to such agrochemical and agrophysical indicators as soil density and the contents of physical clay, humus, nitrates, agriculturally valuable aggregates, mobile phosphorus, and potassium. Soil condition is excellent in the native territories not impacted by human economic activities. According to soil density and the contents of physical clay and agriculturally valuable aggregates, the soils are mostly unsatisfactory and poor, mainly because of rocks, for being used in crops growing. Agrotechnical interventions are warranted. Soils of the arable lands near settlements should be treated with mineral potash- and phosphorus-containing, less often with nitrogen-containing mineral or organic fertilizers. A reserve of agricultural lands for use is represented by abandoned lands, but they also need agrochemical, agrotechnical and other interventions, since the soils have not yet recovered enough.

Keywords: soils, fertility indicators, agricultural use, Cheremkhovsky district of Irkutsk region.

Введение

В Иркутской области обширна площадь земельных ресурсов – 4,5% территории России. Однако на боль-

шей части территории области расположены горные хребты, нагорья, средневысотные плато. Основную часть земель области (более 70%) занимают земли под

лесной растительностью. Площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 3,7% по области, из них около половины заброшены. Семь процентов территории области находится в пользовании предприятий и хозяйств, занимающихся сельскохозяйственным производством [5, 17]. Согласно официальной статистике Росстата, площадь сельскохозяйственных земель в Иркутской области в 1990 году составляла 1,57 млн га, а в 2019 году – 0,71 млн га. С развалом колхозов и совхозов в 1990-х было заброшено более 50% бывших сельскохозяйственных угодий.

Иркутско-Черемховскую равнину, занимающую с соседними остепненными участками 11% территории области, сибирские ученые [16, 19] называют «Иркутский амфитеатр». Эти земли интенсивно используются в сельском хозяйстве. Площадь Черемховского района составляет 9,9 тыс. км² (1,5% территории области). Сельскохозяйственные предприятия Черемховского района производят 25% зерна и 22% молока относительно общеобластного объема сельскохозяйственной продукции.

Основу сельского хозяйства составляют предприятия хозяйства СХОАО «Белореченское». Кроме этого, в районе работают линейное хозяйство ООО «Малиновское», ООО «Новогромовское» (входит в «Падунский мясокомбинат»), 49 крестьянско-фермерских хозяйств. На территории района находится около 9 тыс. личных подсобных хозяйств.

Оценке современного состояния российских сельхозугодий и повышению уровня плодородия почв посвящены многие работы [22, 28, 33]. Ученые отмечают малое содержание основных элементов питания растений в почвах сельскохозяйственных угодий в разных регионах страны. Например [28, с. 5]: «Результаты многочисленных полевых опытов свидетельствуют, что подъема урожайности можно добиться только за счет планомерной и целенаправленной работы по повышению плодородия почв путем применения удобрений, химической мелиорации и средств защиты растений...» Согласно оценке Всероссийского НИИ агрохимии, при внесении удобрений урожайность зерна повышается более чем в 2 раза. Начиная со времен «перестройки», применение удобрений сократилось. «Баланс питательных веществ в почвах для земледелия в стране стал складываться в отрицательную сторону с 3–4-кратным превышением выноса над их поступлением в почву, что повлекло за собой снижение содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах» [28, с. 5]. Эти негативные изменения наиболее заметны в нечерноземных регионах, к которым относится и исследуемый район. Процесс восстановления сельского хозяйства в отдаленных регионах, в том числе в изучаемом, только начинается.

Агрохимической характеристике почв Иркутской области и прилегающих территорий посвящены ра-

боты [3, 14, 15, 17, 25, 29, 31, 35] и др. Опубликованы карты: «Почвенное районирование. Атлас Байкальского региона» [19]; «Почвенно-географическое районирование; Атлас Иркутской области» [16]; «Эрозия почв»; «Трансформация пахотных земель» [3]; «Почвы. Экологический атлас Байкальского региона» [7]. Осуществлено природно-мелиоративное районирование Приангарья [18].

Цель настоящего исследования – дать оценку уровня плодородия почв сельскохозяйственных земель Черемховского района.

Объекты и методы

Объект исследования – почвы Черемховского района Иркутской области. В 2023–2024 годах отобраны более 120 почвенных образцов из 32 основных разрезов и 30 прикопок в соответствии с действующими ГОСТами^{1, 2} на пахотных и залежных землях, а также на фоновых участках. Систематика почв проведена по принципам «Классификации и диагностики почв России» [34].

Анализ почв проведен в соответствии с общими требованиями в химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (ИГ СО РАН). Величина рН определена в суспензии потенциометрическим методом, содержание гумуса – методом Тюрина в модификации Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО). Для определения содержания подвижных соединений калия и фосфора применен метод Кирсанова (Мачигина) в модификации ЦИНАО, для обменного аммония и нитратов – метод ЦИНАО, для структурности почв – метод Савинова [1, 2, 11].

В программе Quantum-GIS с использованием крупномасштабных карт (топографических, космо- и авиаснимков), а также описаний ключевых площадок создана карта-схема использования земель района. Используемые и неиспользуемые земли в сельском хозяйстве выделены на основе сравнения разновременных космо- и аэрофотоснимков.

Результаты и обсуждение

С помощью полевых и камеральных работ созданы карты использования земель Черемховского района в 1988, 2013 и 2023 годах (рис. 1). По данным составленных карт в 2023 году 20,6% исследуемой территории составляли сельскохозяйственные угодья, из ко-

¹ ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. М.: Госстандарт, 1990. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023554> (дата обращения: 30.01.2024).

² ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. Москва, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Стандартинформ, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/719/71989.pdf> (дата обращения: 30.01.2024).

торых более половины заброшены, а 12,1% отведены под пашни, 8,5% – под пастбища. Остальная территория составляет 79,4% общей площади; это главным образом земли под лесами и населенными пунктами. В 1988 году весь потенциал сельскохозяйственных земель использовался практически полностью под пашни. После 1990-х годов произошло увеличение площади заброшенных земель. Возникшие социально-экономические проблемы сейчас решаются. Процесс возрождения отечественного сельского хозяйства ускорился в последние годы из-за западных санкций, когда импортная продукция, зачастую некачественная [20, 23], ушла с рынка³.

За последние 10 лет площадь пахотных земель в Черемховском районе, как и в других районах Иркутской области, несколько увеличилась (на 13%) [5, 17]. Возвращение заброшенных земель в оборот может рассматриваться как потенциал увеличения сельскохозяйственного производства.

В Иркутско-Черемховской равнине распространены почвы: дерново-подзолистые, подзолисто-глеевые, серые, темногумусовые, черноземы, черноземы глинисто-иллювиальные (глееватые). Имеются гумусово-гидроморфические, перегнойно-гидроморфические и торфяные эутрофные почвы. Большая часть черноземов, серых и темногумусовых почв обрабатывались и сейчас заброшены.

Сельскохозяйственные земли заняты антропогенными аналогами природных почв (агроземы темные, агрочерноземы глинисто-иллювиальные, агротемногумусовые, агросерые и др.) на месте естественных черноземов, (темногумусовых, серых почв и др.). Ранее природные почвы района формировались на суглинистых отложениях под степями и светлохвойными кустарничково-травяными лесами. Большая часть пахотных земель расположена вблизи основных населенных пунктов.

Условия произрастания культурных растений в Черемховском районе одни из лучших по Иркутской области. Естественная растительность представлена сосновыми и лиственнично-сосновыми травяными и мелкотравно-разнотравными, остепненными лесами, луговыми степями высокой и средней продуктивности (40–80 ц/га) [4]. Условия – недостаточного увлажнения (коэффициент сухости от 1,5 до 2,5 по [8]), умеренно теплые и теплые (сумма активных температур $\sum t$ от 1400 до 1800 °С [27]). Периодически наблюдается засушливость в первой половине лета. Породы: аргиллиты, алевролиты, бескарбонатные песчаники, известняки, красноцветные карбонатно-силикатные отложения. Многолетняя мерзлота отсутствует, теплый период с температурой воздуха более 10 °С –

³ Список продающихся в России продуктов, содержащих ГМО. LiveJournal. URL: <https://marc-aureli.livejournal.com/299963.html> (дата обращения: 12.05.2024).

90–104 дня, число месяцев с отрицательной температурой воздуха – 5–6 [21]. Земли под лугово-степной растительностью с черноземами, темногумусовыми, перегнойно(гумусово)-гидроморфическими, серыми, аллювиальными гумусовыми и перегнойно-глеевыми почвами занимают 33% площади исследуемого района и пригодны для земледелия и выпаса скота.

В качестве индикаторов уровня плодородия почв рекомендуется использовать следующие показатели: плотность, содержание гумуса, основных элементов питания растений (азот, фосфор, калий), физической глины, агрономически ценных агрегатов.

Как отмечено [10, с. 327]: «Накопление нитратов в почве свидетельствует о ее хорошем “санитарном” состоянии: те же величины рН, те же концентрации и состав почвенного раствора, степень аэрации, влажность и температура, которые благоприятны для большинства культурных растений, способствуют и процессу нитрификации». Высокой мобильностью в почве отмечаются нитраты. Относительно малоподвижен аммонийный азот в почве. Шкала и санитарно-гигиеническая норма содержания аммонийного азота в почвах пока не разработаны, так как этот показатель динамичен, а увеличение его количества не оказывает токсического воздействия на культурные растения.

Агрономически ценные агрегаты (размером 0,25–10 мм) положительно влияют на агрономические свойства почв, их воздухопроницаемость и водопроницаемость [13].

Нормальная (или слабая) плотность (до 1,0–1,1 г/см³) часто свойственна окультуренным почвам. Переуплотненные почвы имеют плотность 1,3–1,5 г/см³ (средняя степень уплотнения) и 1,5–1,6 г/см³ и более – сильная степень уплотнения [32].

На основе полученных результатов и в соответствии с разработанными шкалами отдельных показателей [24, 32] составлена шкала оценки состояния земель по почвенным показателям: плотности, содержанию гумуса, нитратов, подвижного фосфора и калия (для зерновых культур), физической глины, агрономически ценных агрегатов (табл. 1).

Сводные показатели по сумме баллов отдельных показателей приведены в табл. 2. Однако обобщающие характеристики и оценки маскируют плохое состояние по отдельным показателям. Поэтому, принимая во внимание закон равнозначности, незаменимости и лимитирующего фактора («бочка Либиха») (см. [12]), мы разработали способ оценки состояния уровня плодородия почв по «индексу плодородия» (ИП), который демонстрирует оценки одновременно всех показателей.

Например, ИП площадки № 1 (табл. 2) будет таким:

$$\frac{C_3 P_3 A_3 D_5}{N_1 K_2 G_1}$$

где: D_5 – плотность почв мала (состояние отличное);

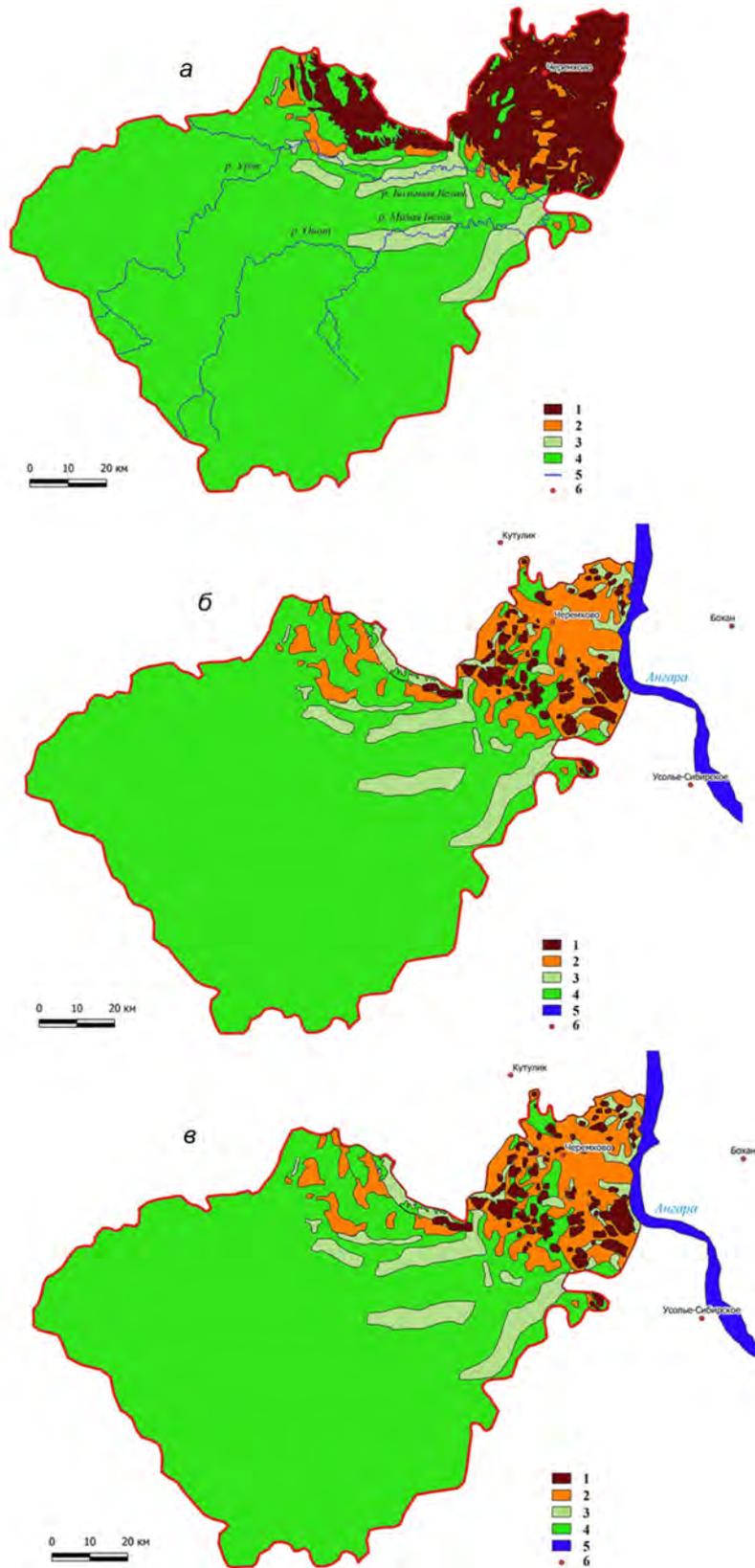


Рис. 1. Площади сельскохозяйственных земель Черемховского района в 1988 (а), 2013 (б) и 2023 (в) годах.
1 – пашня; 2 – залежь; 3 – пастбище; 4 – лес; 5 – реки; 6 – населенный пункт

Шкала оценки состояния земель по почвенным показателям: плотность и содержание физической глины, агрономически ценных агрегатов, гумуса, нитратов, подвижного фосфора и калия

| Фосфор мг/кг | Калий мг/кг | Нитраты мг/кг | Гумус % | A* % | K** | Г*** % | D# г/см ³ | ОП## | ΣБ### |
|-----------------|----------------|------------------|------------|-----------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------------------|-------|
| <25 | <100 | <4, >130 | <1 | <20 | Очень низкое | >40 | >1,5 | Плохое 1 балл | <11 |
| 26–50 | 101–200 | 4–8 | 2,1–3,0 | 20– 40 | Низкое | <10 | 1,3– 1,5 | Неудовлетворительное 2 балла | 11–15 |
| 51–100 | 201–300 | 8–15 | 3,1–5,0 | 40– 60 | Среднее | 10– 20 | 1,2– 1,3 | Удовлетворительное 3 балла | 16–19 |
| 101–150 | 301–400 | 15–20 | 5,1–8,0 | 60– 80 | Выше среднего | 20– 30 | 1,2– 1,1 | Хорошее 4 балла | 19–25 |
| >150 | >400 | 20–130 | >8,0 | >80 | Высокое | 30– 40 | <1,1 | Отличное 5 баллов | >25 |

Примечание: A* – содержание агрономически ценных агрегатов; K** – содержание фосфора, калия, нитратов, гумуса и агрономически ценных агрегатов; Г*** – содержание физической глины (частицы < 0,01 мм); D# – плотность (оценивались по шкале⁴, предложенной в [9, 24, 32]); ОП## – оценка плодородия почв по вышеприведенным показателям; K – состояние плодородия почв; ΣБ### – сумма баллов.

C₃ – содержание гумуса среднее (удовлетворительное);

P₃ – содержание подвижного фосфора среднее (удовлетворительное);

A₃ – содержание агрономически ценных агрегатов среднее (удовлетворительное);

K₂ – содержание подвижного калия низкое (неудовлетворительное);

Г₁ – содержание физической глины большое (плохое);

N₁ – содержание нитратного азота низкое (плохое).

В числителе указаны показатели с удовлетворительным (3), хорошим (4) и отличным (5) состоянием, в знаменателе – с неудовлетворительным (2) и плохим (1) состоянием.

Из этого индекса видно, что почвы на данной площадке находятся в «плохом» и «неудовлетворительном» состоянии по показателям: содержание нитратного азота (очень низкая концентрация), физической глины (высокое), калия (низкое). По сумме баллов всех показателей (3 + 3 + 3 + 5 + 1 + 2 + 1 = 16) почвы находятся в «удовлетворительном» состоянии.

По предложенной схеме проведена оценка уровня плодородия почв ключевых участков района, в баллах и в виде индекса ИП (табл. 2).

Агрозолеми темные, чернозолеми глинисто-иллювиальные, темногумусовые, серые, и их антропогенные аналоги в основном имеют слабощелочную и нейтральную реакцию (рН_{водн} от 7,3 до 6,5). Актуальная кислотность почв сельскохозяйственных варьирует от ще-

лочной до нейтральной, что обусловлено припахиванием нижних карбонатных горизонтов (рН_{водн} 6,5–8,6). рН солевой вытяжки используется для характеристики кислых почв и расчета нормативов внесения извести. Мы его не использовали, так как в нашем случае кислые почвы не встречаются и почвы в известковании не нуждаются. Концентрация гумуса в почвах колеблется от среднего (3,5%) на залежах и пашнях до высокого (12,2%) уровня на условно «фоновых» участках с естественной растительностью. В большей части исследованных почв концентрация гумуса средняя (удовлетворительное состояние). В агротемногумусовой почве, агрозолеми темной под паром и на залежах (г. Алехино, д. Петровка) зафиксировано самое низкое содержание гумуса (3,5–3,7%). В чернозолеми глинисто-иллювиальных глееватых (п. Касьяновка) наблюдается повышенное содержание гумуса (>12%).

Содержание подвижного фосфора в гумусовых горизонтах исследованных почв в основном низкое и очень низкое (9–35 мг/кг). Более высокая концентрация подвижного фосфора (62–160 мг/кг) выявлена в почвах на залежах более 20 лет и на фоновой территории вблизи г. Алехино и п. Касьяновка. В большинстве изученных площадок почвы имеют низкий уровень содержания калия (46–117 мг/кг). Высокая концентрация калия (до 498 мг/кг) установлена в почвах фоновой территории под естественной растительностью.

Содержание аммиачного азота в верхних горизонтах составляет 6,9–30,1 мг/кг. Концентрация нитратов в почвах не превышает гигиенические нормы (130 мг/кг), варьирует от 0,8 до 17,8. Примерно половина исследуемых участков характеризуется содержанием

⁴ ГОСТ 26213-84. Почвы. Методика определения содержания гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Госстандарт, 1984.

Табл. 2

Некоторые показатели почв основных ключевых площадок Черемховского района

| Местоположение, высота | Растительность, использование | Почва | Горизонт | pH _{ном} | Гумус % балл | N-NH ₄ мг/кг | N-NO ₃ мг/кг | P ₂ O ₅ мг/кг | K ₂ O мг/кг | Г % балл | А % балл | D г/см ³ балл | ΣБ | ОП | ИП |
|---------------------------------------|---|--|----------|-------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|--|---------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|----|----|--|
| 2 км на запад от г. АLEXИНО 576 м | Залежь более 20 лет, сорная травянистая растительность с подростом сосны. | Агро-темногумусовая PU 0-20, AU 20-27 C 27-38 | PU | 7,6 | 3,5 3 | 7,0 | 1,6 1 | 62 3 | 117 2 | 50 1 | 55 3 | 0,95 5 | 18 | У | $\frac{C_3 P_3 A_3 D_5}{N_1 K_5 \Gamma_1}$ |
| 1,5 км на юг от г. Черемхово 637 м | Пашня. Турнепс и редис. | Агрочернозем иллювиальный PU 0-20, AU 20-41, ВЛ 41-55, С 55 | PU | 7,1 | 4,8 3 | 8,2 | 17,4 4 | 22 1 | 96 1 | 54 1 | 61 4 | 1,09 5 | 19 | Х | $\frac{C_3 N_4 A_4 D_3}{P_1 K_1 \Gamma_1}$ |
| 1 км на север от п. Касьяновка 620 м | Фон. Злаково-разнотравный с осокой остепненный луг. | Чернозем глинисто-иллювиальный глееватый AU 20-41, ВЛ 41-48, Сg 55 | AU | 7,4 | 5,2 | 13,4 | 11,5 | 42 | 130 | 50 | 81 | 1,47 | | | |
| 2,5 км на С-3 от д. Петровка 607 м | Пар. Сурепка, сорная. | Агрозём темный PU 0-20 (25), С 25 | PU | 6,9 | 3,7 3 | 7,3 | 11,7 3 | 35 2 | 110 2 | 57 1 | 60 3 | 1,56 1 | 15 | Н | $\frac{C_3 N_3 A_3}{P_2 K_3 \Gamma_1 D_1}$ |
| 250 м на север от г. Черемхово 645 м | Залежь более 10 лет. Разнотравно-злаковый остепненный островной березняк. | Агрозём темный PU 0-20 (25), С 25 | С | 7,0 | 0,3 | 1,3 | 11,5 | 40 | 122 | 55 | 46 | 1,60 | | | |
| 2100 м на юг от д. Белоборова 581 м | Залежь 15 лет. Разнотравно-злаковый луг с сорной растительностью и подростом сосны. | Урбоагрозерная АУ 0-25, АЕЛ 25-32, ВЕЛ 32-36, ВГ 36-45, С 45 | AU | 6,6 | 4,1 3 | 6,9 | 1,0 1 | 9 1 | 94 1 | 62 1 | 16 1 | 1,38 2 | 10 | П | $\frac{C_3}{N_1 P_1 K_1 \Gamma_1 A D_2}$ |
| 300 м на север от д. Заморская 546 м | Пашня. Овес. | Агрочернозем иллювиальный PU 0-20, AU 20-30, ВЛ 30-35, С 35 | PU | 7,0 | 6,0 3 | 7,0 | 1,5 1 | 16 1 | 81 1 | 52 1 | 11 1 | 1,30 2 | 10 | П | $\frac{C_3}{N_1 P_1 K_1 \Gamma_1 A}$ |
| 500 м на север от г. Михайловка 510 м | Залежь 8 лет. Осоково-разнотравно-злаковый луг с сорной растительностью и веходами сосны. | Агрозём темный PU 0-23, С 23 | PU | 7,3 | 5,4 4 | 9,3 | 17,8 4 | 34 2 | 111 2 | 52 1 | 9 1 | 1,27 3 | 17 | У | $\frac{C_4 N_4 D_3}{P_2 K_3 \Gamma_1 A_1}$ |
| | | | С | 7,9 | 0,3 | 1,2 | 10,5 | 43 | 120 | 54 | 42 | 1,36 | | | |
| | | | PU | 8,6 | 4,2 3 | 7,4 | 0,8 1 | 17 1 | 46 1 | 48 1 | 6 1 | 1,33 2 | 9 | П | $\frac{C_3}{N_1 P_1 K_1 \Gamma_1 A D_2}$ |
| | | | Сса | | 0,4 | 1,3 | 11,5 | 49 | 222 | 55 | 39 | 1,35 | | | |

Примечание: D – плотность; А – содержание агрономически ценной структуры; Г – содержание физической глины; ΣБ – сумма баллов; ОП – оценка плодородия почв по сумме баллов (отличное – О, хорошее – Х, удовлетворительное – У, неудовлетворительное – Н, плохое – П); ИП – индекс плодородия.

нитратов в почвах от среднего до выше среднего. Содержание нитратов в почвах залежей очень низкое. Самые высокие значения нитратов в почвах встречаются на пашнях (как следствие применения удобрений) и на фоновой территории.

По содержанию физической глины (фракции частиц <math><0,001\text{ мм}</math> составляют от 42 до 62%) почвы в основном находятся в плохом состоянии, что связано по большей части с естественными факторами и наследовано от подстилающих пород.

Показатели плотности почв варьируют от 0,61 до 1,56 г/см³ в верхних горизонтах исследованных почв, что говорит о различиях в их состоянии – от отличного до плохого. Самые высокие показатели плотности ($D = 1,27\text{--}1,60\text{ г/см}^3$, см табл. 2) установлены в пахотных и подпахотных горизонтах почв. Самые лучшие (низкие) показатели плотности зафиксированы в почвах фоновой территории.

Содержание агрономически ценных агрегатов в гумусовых и пахотных горизонтах почв составляет от 6 до 60%, что свидетельствует о диапазоне от «плохой» до «хорошей» структуры. «Отличное» состояние структуры зафиксировано в темногумусовых подпахотных горизонтах. Почвы у большей части пашен по данному показателю характеризуются как неблагоприятные («плохое» состояние).

Таким образом, несмотря на благоприятные, относительно всей области, климатические условия небольшого участка Иркутско-Черемховской равнины, окруженного средневысотными плато и горными хребтами, большая часть земель Черемховского района характеризуется «плохими» агрофизическими и «удовлетворительными» агрохимическими свойствами почв в связи с неприменением или ограниченным применением агрономических (севообороты, посев многолетних трав), агротехнических (углубление или создание мощного пахотного слоя и поддержание его в рыхлом состоянии (рыхление)) и агрохимических мероприятий (органические и минеральные удобрения).

Заключение

Почвы Иркутско-Черемховской равнины согласно районированию разного масштаба [6, 30] составляют небольшой участок суббореального пояса (окруженного горными провинциями бореального пояса, занимающего значительную часть территории Иркутской области) и находятся в благоприятных климатических условиях для выращивания культурных растений. Состояние плодородия почв примерно на половине территории Черемховского района, используемой в сельском хозяйстве, оценивается как относительно благоприятное («удовлетворительное»), реже – «хорошее». Более половины сельскохозяйственных земель заброшены. Почвы фоновых территорий характери-

зуются отличными показателями, кроме показателя содержания физической глины, что обусловлено подстилающими породами. Состояние почв по данному показателю и на фоновой территории оценивается как «плохое». Половина площади как используемых, так и заброшенных сельскохозяйственных земель по показателям уровня плодородия почв оценивается как «плохое» и «неудовлетворительное». К числу неблагоприятных характеристик почв относятся плотность, содержание основных элементов питания, физической глины, агрономически ценных агрегатов.

В большинстве исследованных почв низкое количество подвижного фосфора и калия, иногда нитратного и аммонийного азота. В некоторых случаях количество нитратов достаточное, но не хватает фосфора и калия.

Почвы в основном находятся в «плохом» и «удовлетворительном» состоянии по показателям содержания физической глины и агрономически ценных агрегатов. Поэтому для улучшения структуры необходимы специальные агротехнические мероприятия. Почвы на большей части заброшенных земель региона имеют средний уровень плодородия и могут быть введены в сельскохозяйственный оборот, но с применением агротехнических мероприятий, органических и минеральных удобрений. Почвы используемых и заброшенных земель в сравнении с фоновой территорией значительно отличаются в худшую сторону по содержанию гумуса, подвижного фосфора и калия, что свидетельствует об их длительном использовании без применения минеральных фосфорных и калийных удобрений, без хорошо подобранных севооборотов и агротехнических мероприятий, и они еще не восстановились.

Почвы заброшенных сельскохозяйственных земель при разумном применении агротехнических и агрохимических мероприятий пригодны для узкоспециализированной сельскохозяйственной деятельности (свинина, птица и яйцо, овощеводство, плоды и ягоды), производства зерна, картофеля, мяса и молока крупного рогатого скота. Возможно выращивание ранних культур (зернобобовые, картофель, зерновые колосовые и др.). Рекомендуются севообороты: овощные, картофельные, зернопропашные, зернопаропашные, зернопаротравяные, зернотравяные.

Исследование выполнено при финансовой поддержке регионального гранта Российского научного фонда и Министерства экономического развития и промышленности Иркутской области (проект № 23-27-10013 (05-62-824/24) «Трансформация постагрогенных почв и возможность их введения в сельскохозяйственный оборот в условиях интенсивного природопользования и глобальных изменений окружающей среды»).

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука; 1975.
2. Аринушкина ЕВ. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ; 1970.
3. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. Иркутск, 2004. URL: http://irkipedia.ru/content/irkutskaya_oblast_ekologicheskie_usloviya_razvitiya_atlas_2004.
4. Белов АВ, Соколова ЛП, Лопаткин ДА, Тувшинтогтох И. Растительность. В кн.: Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: ИГ СО РАН, 2015. С. 34. https://elibrary.ru/download/elibrary_23952047_23698251.pdf.
5. Белозерцева ИА, Зверева НА, Скосырский НА, Козин АВ. Состояние плодородия почв Предбайкалья. Биосфера. 2023;(3):220-8. DOI: 10.24855/biosfera.v15i3.815.
6. Белозерцева ИА, Сороковой АА. Почвенно-экологическое районирование Байкальского региона. Геодезия и картография. 2018;(10):54-64. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-940-10-54-64.
7. Белозерцева ИА, Убугунов ЛЛ, Сороковой АА, Убугунов ВЛ, Доржготов Д, Убугунова ВИ, Гынинова АБ, Батхишиг О, Бадмаев НБ, Балсанова ЛД, Гончиков БН, Цыбикдоржиев ЦД-Ц. Почвы. Карта № 57. Экологический атлас Байкальского региона; 2017. <http://atlas.isc.irk.ru>.
8. Будыко МИ. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоздат; 1971.
9. Бутырин МВ, ред. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий и рекомендации по применению удобрений в МО «Усть-Алтан» Осинского района Иркутской области; 2009.
10. Возбуцкая АЕ. Химия почвы. М.: Высшая школа; 1968.
11. Воробьев ЛА, ред. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС; 2006.
12. Добровольский ГВ, Урусевская ИС. География почв. М.: Колос; 2006.
13. Долгов СИ, ред. Агрофизические методы исследования почв. Москва: Наука; 1966.
14. Калеп ЛЛ. К проблеме экологизации аграрного землепользования Байкальской природной территории. География и природные ресурсы. 2003;(2):41-4.
15. Козлова АА, Белозерцева ИА, Лопатина ДН. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности пространственного распространения. География и природные ресурсы. 2021;(1):103-14. DOI: 10.15372/GIPR20210112.
16. Кузьмин ВА. Почвенный покров. Почвенное районирование. В кн.: Атлас Иркутской области. Иркутск-Москва; 2004. С. 40-1.
17. Лопатина ДН, Белозерцева ИА. Почвенно-экологическое зонирование территории бассейна реки Оса (Верхнее Приангарье). Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017;(22):71-81.
18. Лопатовская ОГ, Сугаченко АА. Мелиорация почв. Засоленные почвы: учебное пособие. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та; 2010.
19. Мартынов АВ, Мартынов ВП, Цыбжитов ЦХ, Кузьмин ВА. Карта почвенного покрова. Мб. 1:2500000. Байкал. Атлас. М.: Федеральная служба геодезии и картографии, 1993. С. 130-1.
20. Пехтерева ЕА. Регулирование внедрения ГМО в производство продуктов питания: пример Канады. Россия и современный мир. 2023;(1):78-94. DOI: 10.31249/rsm/2023.01.05.
21. Плюсин ВМ, ред. Экологический атлас Байкальского региона. Иркутск: ИГ СО РАН; 2017. <http://atlas.isc.irk.ru>.
22. Подколзин АИ. Эколого-агрохимическая оценка состояния плодородия почв и применения удобрений в Ставропольском крае: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ; 1998.
23. Рожков Е. «Ножки Буша» опасны для здоровья. «Вести недели»; 2007. <https://vesti7.ru/archive/news?id=616> (дата обращения: 12.05.2024).
24. Русин ГГ. Физико-химические методы анализа в агрохимии. М.: Агрохимиздат; 1990.
25. Серышев ВА, Солодун ВИ. Агрорландшафтное районирование Иркутской области. География и природные ресурсы. 2009;(2):86-94.
26. Солодун ВИ. Агрорландшафтное районирование Иркутской области: Учебно-методическое пособие. Иркутск: Изд-во Ир ГАУ им. А.А. Ежовского; 2016.
27. Сороковой АА. Сумма температур выше 100 °С. В кн.: Экологический атлас Байкальского региона; 2017. Карта № 46. <http://atlas.isc.irk.ru>.
28. Сычев ВГ, Шафран СА, Виноградова СБ. Плодородие почв России и пути его регулирования. Агрохимия. 2020;(6):3-3. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
29. Убугунов ЛЛ. Почвенные ресурсы республики Бурятия, их агроэкологическое состояние и рациональное использование. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020;(2):35-46. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.005.
30. Урусевская ИС, Алябина ИО, Винокова ВП. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Мб. 1 : 1:2500000. Москва: МГУ; 2013.

31. Хисматуллин ШД. Эрозия на сельскохозяйственных землях Иркутской области. География и природные ресурсы. 1991;(4):49-61.
32. Черемисинов АЮ, Черемисинов АА, Плотников СА. Уплотнение орошаемых почв от воздействия сельскохозяйственных машин. Лесотехнический журнал. 2013;(4):156-60.
33. Шафран СА. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы. Агрохимия. 2016;(8):3-11.
34. Шишов ЛЛ, Тонконогов ВД, Лебедева ИИ, Герасимова МИ. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена; 2004.
35. Шпедт АА, Козлова АА, Белозерцева ИА, Гранина НИ, Лопатовская ОГ, Киселева НД, Куклина СЛ, Мартынова НА, Лопатина ДН. Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия. Земледелие. 2022;(1):9-13. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-9-13.



ВОДНЫЙ ОБМЕН ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.А. Уразбахтин, Р.В. Уразгильдин*

Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

* Эл. почта: urv@anrb.ru

Статья поступила в редакцию 22.04.2024; принята к печати 17.10.2024

Обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов указывает на различия в адаптивных реакциях параметров водного обмена растений в ответ на различные типы промышленного загрязнения: наблюдались как отрицательные, так и положительные реакции. Однако отсутствуют сравнительная характеристика выявленных адаптивных реакций при разных типах загрязнения и, главное, их качественная оценка при том, что все авторы указывают на безусловно адаптивный характер выявленных ими реакций. Цель настоящей работы – восполнить эти пробелы. Объект исследования – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), хвоя которой служит хорошим всесезонным биоиндикатором в пяти промцентрах с различными типами загрязнения: три с аэротехногенным и два – отвалам вскрышных пород горнодобывающей промышленности. Проанализированы интенсивность транспирации хвои, относительное содержание воды, дефицит водного насыщения. Показано, что аэротехногенные полиметаллическое загрязнение и полиметаллическое с примесью сернистого ангидрида подавляют водный обмен хвои сосны, вызывая стрессовые и умеренно-стрессовые адаптивные реакции, что свидетельствует о низком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения, в то время как полиметаллическое загрязнение в условиях медно-колчеданных и буроугольных отвалов горнорудной промышленности стимулирует водный обмен хвои, вызывая умеренно-толерантные адаптивные реакции, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения. Нефтехимическое загрязнение не оказывает влияния на водный обмен хвои, что сопровождается нейтральной адаптивной реакцией. Кроме того, в условиях аэротехногенного полиметаллического загрязнения и отвалов буроугольной промышленности нарушена суточная динамика водного обмена, что сопровождается стрессовой адаптивной реакцией в первом случае и толерантной во втором; остальные типы загрязнения не оказывают влияния на суточную динамику водного обмена. Показана относительная независимость между параметрами водного обмена, когда их адаптивные реакции на один и тот же тип загрязнения различаются, что говорит об экологической пластичности сосны по отношению к разным типам загрязнения.

Ключевые слова: промышленное загрязнение, Южно-Уральский регион, сосна обыкновенная, водный обмен, адаптивные реакции, сравнительная характеристика.

WATER RELATIONS IN NEEDLES OF SCOTCH PINE UNDER DIFFERENT POLLUTION CONDITIONS IN SOUTH URALS

A.A. Urazbakhtin, R.V. Urazgildin*

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

* Email: urv@anrb.ru

Reviewing research articles published in Russia and abroad suggests that the adaptive responses of water relation parameters in plants to different types of industrial pollution are variable: the observed responses may be negative as well as positive. However, there are still no comparative studies of the observed responses to different types of pollution and no qualitative characterization thereof although all authors point out that the responses observed are certainly adaptive. The purpose of the present study is to fill this gap. The object of the study is pine (*Pinus sylvestris* L.). Its needles are believed to be good all-seasons bioindicator of pollution. The water relations of pine needles were assessed in five industrial regions featuring different types of pollution: airborne pollution in three and pollution by mining dumps in two of them. Water relation parameters studies in pine needles were transpiration, relative water content and water saturation deficit. Both airborne poly-metallic pollutions with or without sulfurous anhydride admixture inhibit water relations thus triggering stress-type adaptive responses. This suggests that the adaptive potential of pine to such pollution types is low. Poly-metallic pollutions caused by copper pyrite and brown coal mining dumps stimulates water relation thus triggering moderately tolerant adaptive responses. This suggests that pine adaptive potential to such types of pollution is high. Petrochemical pollution does not affect water relations in pine needles. Besides, the airborne poly-metallic and brown coal mining dumps pollution types cause impairments in the diurnal course of water relation associated with stress-type adaptive responses in the former case and tolerant responses in the latter case. Other variants of pollution do not influence the diurnal course of water relations. The water relation parameters are relatively independent as far as their responses to the same type of pollution may be different. This fact shows pine ecological plasticity under different types of pollution.

Keywords: industrial pollution, South Urals, Scotch pine, water relation, adaptive responses, comparative characteristics.

Введение

Необходимым условием жизнедеятельности растения является поддержание водного баланса. Содержание воды неодинаково в разных органах растения и зависит от условий внешней среды, вида и возраста растения [10, 17]. Различия между показателями водного обмена у различных видов в одинаковых условиях, а также их сходство свидетельствуют о видоспецифичности водного обмена [11]. Анализ отечественных и зарубежных публикаций показывает значительные различия в выявленных результатах в условиях аэротехногенного загрязнения, которые во многом зависят от источников загрязнения и преобладающих загрязнителей. У одних древесных видов в условиях загрязнения наблюдается подавление процессов водного обмена (снижение интенсивности транспирации, устьичной проводимости и устьичного сопротивления, увеличение оводненности, влагоемкости, водоудерживающей способности и водного потенциала, снижение водного дефицита и др.) [3, 4, 12, 18, 19], другие древесные виды при возрастании уровня загрязнения способны либо усиливать процессы водного обмена (увеличение интенсивности транспирации, снижение оводненности, водоудерживающей способности и водного потенциала, увеличение водного дефицита и др.), либо поддерживать его на уровне контрольных значений [3, 4, 12, 13, 15, 20]. Количество исследований водного обмена хвои и листьев древесных видов в условиях отвалов горнорудной промышленности значительно уступает исследованиям влияния аэротехногенного загрязнения на водный обмен, однако следует отметить, что экологические условия, формируемые отвалами горнорудной промышленности, в целом не оказывают подавляющего действия на водный обмен ассимиляционного аппарата древесных видов [9, 16]. Следует также отметить общую малочисленность зарубежных исследований в отношении водного обмена древесных видов в условиях техногенеза.

У растений физиологические процессы без заметных нарушений могут проходить при показателе водного дефицита от 3 до 14%, без ущерба переносится потеря воды до половины массы насыщения, а показатель, вызывающий серьезные нарушения, находится приблизительно между 1/4 и 3/4 общего содержания воды [5, 6]. Таким образом, адаптация водного обмена является одним из важнейших условий выживания растительных организмов, произрастающих в экстремальных лесорастительных условиях [6, 11]. В публикациях последних лет имеется достаточно литературы, дающей ключ к пониманию, как влияет техногенез на водный обмен хвои и листьев древесных видов [6, 10, 11], но практически отсутствует сравнительная характеристика влияния различных типов промышленного загрязнения на водный обмен и качественная оценка выявленных адаптивных реакций.

Цель работы – сравнительная оценка воздействия различных типов аэротехногенного загрязнения и отвалов

горнорудной промышленности в условиях Южно-Уральского региона на водный обмен хвои сосны обыкновенной.

Методика и объекты исследования

Районы исследования – пять промышленных центров Южно-Уральского региона, характеризующихся разными типами промышленного загрязнения^{1, 2}.

Стерлитамакский промышленный центр (СПЦ) – аэротехногенное полиметаллическое загрязнение. Основные загрязнители: полиметаллическая пыль в составе взвешенных веществ, диоксид серы, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, бензапирен и др. Основные предприятия, влияющие на экологическую ситуацию в промышленном центре, – химические и нефтехимические (АО «Башкирская содовая компания», ОАО «Синтез-Каучук»), предприятия электроэнергетики (Стерлитамакская ТЭЦ и Ново-Стерлитамакская ТЭЦ), а также филиал ООО «ХайдельбергЦементРус», ООО «Газпром газораспределение Уфа».

Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) – аэротехногенное полиметаллическое загрязнение в сочетании с сернистым ангидридом. Основные загрязнители: полиметаллическая аэрозоль, сернистый ангидрид, оксид азота, оксид углерода, оксид меди, оксид цинка, соединения железа и др. Основной загрязнитель атмосферы города АО «Карабашмедь».

Уфимский промышленный центр (УПЦ) – нефтехимическое загрязнение. Основными загрязнителями являются: оксид углерода, бензапирен, оксид и диоксид азота, оксид и диоксид серы, взвешенные вещества и др. Основные предприятия, влияющие на экологическую ситуацию в промышленном центре, – нефтеперерабатывающие («Башнефть-Уфанефтехим», «Башнефть-Уфимский НПЗ», «Башнефть-Новыйл»), химическая (ПАО «Уфаоргсинтез»), нефтедобывающая (ООО «Башнефть-добыча»), машиностроение и металлообработка (ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение») и др.

Учалинский горно-обогащительный комбинат (УГОК) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород медно-колчеданной горнорудной промышленности. Основными загрязнителями являются газо-аэрозольные и пылевые выбросы, в составе которых присутствуют тяжелые металлы (Cu, Zn, Hg, Fe, Mn и др.), сульфаты. Основное предприятие, относящееся к цветной металлургии, влияющее

¹ Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан в 2022 году. Уфа: Самрау; 2023.

² Реферат по итогам оказания услуг по осуществлению регулярных наблюдений химического загрязнения атмосферного воздуха на территории города Карабаша, где нет государственной наблюдательной сети. Челябинск: Филиал ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Челябинской области; 2022.

на экологическую ситуацию в промышленном центре АО, – «Учалинский горно-обогатительный комбинат». К другим предприятиям, имеющим стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха, относятся: ООО «Завод Технопарк», ООО «Завод Николь – Пак», МУП «Учалыводоканал», ОАО «Учалинские тепловые сети», филиал ООО «Газпром газораспределение Уфа».

Кумертауский бурогольный разрез (КБР) – полиметаллическое загрязнение в условиях отвалов вскрышных пород бурогольного разреза. Основными загрязнителями являются пылевые выбросы, в составе которых присутствуют тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ca, Mn и др.), формальдегид, оксид углерода, диоксид азота, аммиак. Кроме отвалов вскрышных пород горнорудной промышленности, предприятиями, влияющими на экологическую ситуацию в промышленном центре, являются АО «Свердловская энергогазовая компания», Кумертауская ТЭЦ.

В каждом районе исследований в соответствии с розой ветров были условно выделены зоны сильного загрязнения и контроль (рис. 1).

Объект исследования – сосна обыкновенная, является одним из основных лесообразователей Южно-Уральского региона. Хвоя сосны обыкновенной

может считаться универсальным биоиндикатором и всесезонным тест-объектом для оценки загрязнения воздуха и почвы в различных регионах мира. Из таблицы 1 видно, что значительные различия по таксационным показателям между промзоной и контролем наблюдаются только на отвалах вскрышных пород УГОК и КБР. Это объясняется тем, что естественное зарастание отвалов началось в конце прошлого столетия после прекращения отсыпки грунтов и в условиях контроля отсутствуют древостои, близкие по возрасту. В КМК, УПЦ и СПЦ древостои подобраны корректно, однако следует отметить, что запас древостоя в условиях загрязнения во всех случаях снижается относительно контроля практически на 100 м³/га.

Исследования проводились в полевых условиях непосредственно на пробных площадях в древостоях. Для проведения исследований выбирались дни без осадков с приблизительно равномерной облачностью и температурой атмосферного воздуха в течение дня (рис. 2). Согласно литературным источникам, наиболее пригодным для полевых экологических исследований является метод быстрого взвешивания только что срезанных целых растений или их частей. В основе метода лежит учет количества воды, потерянной листом за короткий промежуток времени в результа-

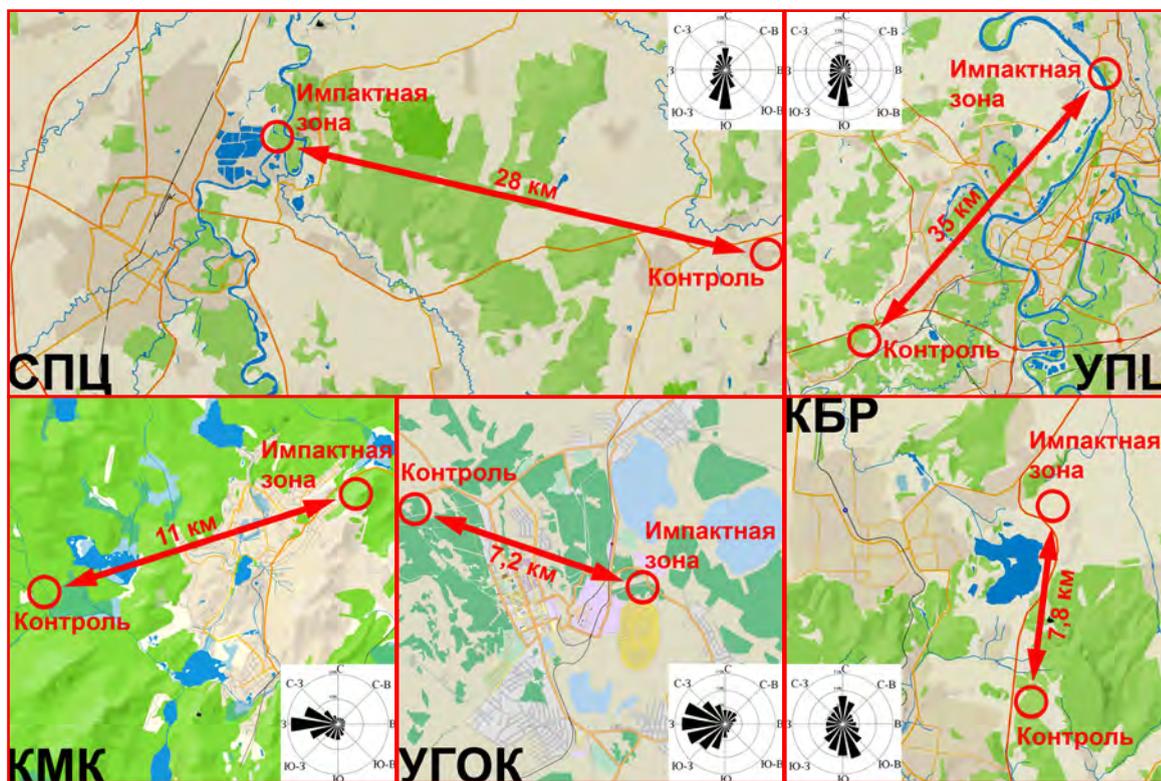


Рис. 1. Схемы расположения пробных площадей в условиях загрязнения и контроля в промышленных центрах Южно-Уральского региона (использованы Яндекс-карты) с годовой розой ветров (<https://ru.meteocast.in>) для каждого промцентра

Табл. 1

Краткая таксационная характеристика древостоев сосны обыкновенной в условиях различных типов загрязнения Южно-Уральского региона

| Промцентр | Местоположение, формула древостоя, ТУМ | A_{cp} , лет | D_{cp} , см | H_{cp} , м | Полнота | Густота, шт./га | Запас, м ³ /га |
|-----------|--|----------------|---------------|--------------|---------|-----------------|---------------------------|
| КМК | Загрязнение, 9С1Б, С2 | 78 | 24 | 23 | 0,9 | 848 | 465,488 |
| | Контроль, 8С2Б, С2 | 71 | 22 | 25 | 0,8 | 1008 | 573,296 |
| УПЦ | Загрязнение, 7С3Кл ед. В, С2 | 63 | 22 | 26 | 0,8 | 1280 | 547,808 |
| | Контроль, 8С2Кл ед. В, С2 | 76 | 22 | 25 | 0,8 | 1360 | 670,64 |
| СПЦ | Загрязнение, 10С, В2 | 62 | 20 | 30 | 0,7 | 1296 | 589,36 |
| | Контроль, 10С, В2 | 38 | 20 | 25 | 0,9 | 1248 | 466,304 |
| УГОК | Загрязнение, 5С5Б, А2 | 35 | 12 | 14 | 0,6 | 1328 | 369,76 |
| | Контроль, 10С+Б, D2 | 55 | 24 | 28 | 0,9 | 1253 | 826,3 |
| КБР | Загрязнение, 7С3Б, А2 | 28 | 14 | 18 | 0,8 | 1440 | 247,78 |
| | Контроль, 10С, D2 | 47 | 20 | 25 | 0,7 | 1056 | 529,888 |

Условные обозначения: ТУМ – тип условия местопроизрастания; A_{cp} , D_{cp} , H_{cp} – средние возраст, диаметр и высота древостоя.

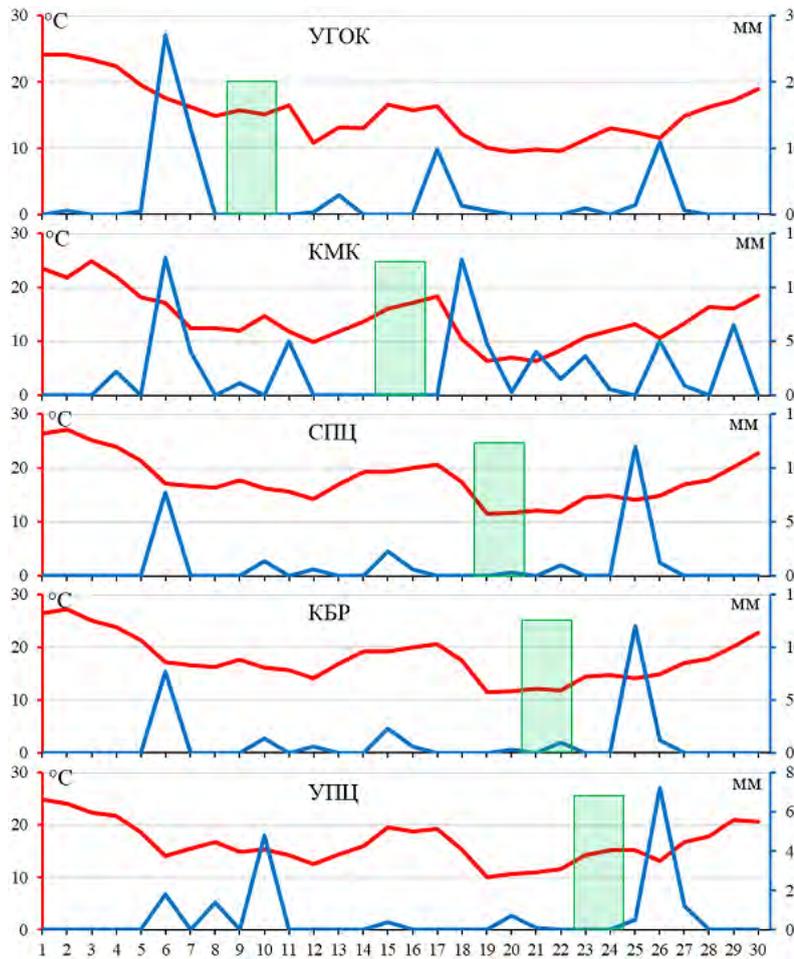


Рис. 2. Климатические данные за июнь 2023 года в промышленных центрах Южно-Уральского региона (<http://aisori-m.meteo.ru>). Условные обозначения: — среднесуточная температура воздуха, °С, — количество осадков, мм; — дни проведения полевых исследований в промзоне и контроле

те транспирации. Повторность – по 20 укороченных побегов сосны обыкновенной текущего года генерации из нижней части кроны с южной стороны дерева. В течение июля проводились измерения интенсивности транспирации (ИТ), относительного содержания воды (ОСВ), дефицита водного насыщения (ДВН). Измерения проводились: утром с 8:00 до 10:00 ч, в полдень с 12:00 до 14:00 ч и вечером с 16:00 до 18:00 ч. ИТ определяли быстрым взвешиванием образцов на высокоточных электронных весах (Diamond 0,001), после чего образцы выдерживали 3 минуты на открытом воздухе, не допуская попадания прямых солнечных лучей, и взвешивали повторно. Расчет ИТ: мг воды на 1 г сырого веса в 1 час (мг/г·час). ОСВ и ДВН хвои определяли быстрым взвешиванием на электронных весах с последующим погружением основания укороченного побега в воду и выдерживанием в закрытом эксикаторе на рассеянном свете в течение 3 часов и повторным взвешиванием. Для вычисления ОСВ определяли вес абсолютно сухих образцов после выдерживания в термосушильном шкафу две недели при температуре +60 °С. Расчет показателей ОСВ и ДВН – в процентах (%) [1, 2, 8].

При качественном определении адаптивных реакций использованы классификация и методика, предложенные Р.В. Уразгильдиным [14]. В дендрэкологии к «классическим» адаптивным реакциям водного обмена древесных растений на усиление промышленного загрязнения относятся [6, 11]: уменьшение интенсивности транспирации (как показатель закрытия устьиц для уменьшения поступления токсикантов в хвою), увеличение относительного содержания воды (как показатель уменьшения интенсивности транспирации) и уменьшение дефицита водного насыщения (как показатель увеличения содержания воды в хвое). Эти изменения в условиях загрязнения относительно контроля, если они значительные количественно (изменения более чем на 30% считали значимыми количественно [5, 6]) и статистически значимые, относили к «стрессовым» адаптивным реакциям, противоположные изменения относили к «толерантным» адаптивным реакциям, а реакции незначительные количественно или статистически незначимые – к «умеренно-стрессовым» и «умеренно-толерантным». Отсутствие изменений определяли «нейтральной» адаптивной реакцией. Статистическая обработка данных проводилась с применением программ Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0.

Результаты исследования

ИТ (рис. 3А) на протяжении всего дня в условиях КБР характеризуется снижением относительно контроля значительным по величине и статистически значимым (на 0,12–0,91 мг/г·час, в среднем на 0,62 мг/г·час), в УГОК – незначительным и незначимым (на

0,03–0,37 мг/г·час, в среднем на 0,2 мг/г·час). В остальных промцентрах единая четкая тенденция отсутствует: в течение дня ИТ в условиях загрязнения либо превышает контрольные значения, либо снижается относительно контроля без каких-либо закономерностей, поэтому в этих условиях адаптивные реакции оцениваются по среднесуточным показателям. ИТ незначительно возрастает относительно контроля в УПЦ (на 0,15 мг/г·час), но значительно снижается в СПЦ (на 0,7 мг/г·час) и КМК (на 0,49 мг/г·час). Естественная суточная динамика ИТ (увеличение к полудню и снижение к вечеру) во всех промцентрах отсутствует, что характеризует ее дисбаланс: в СПЦ наблюдается снижение на протяжении всего дня, в КБР обратная реакция – увеличение на протяжении всего дня, в УПЦ уменьшение к полудню и восстановление к вечеру, в КМК и УГОК изменения в течение дня отсутствуют. Следует отметить, что во всех промцентрах уровень ИТ приблизительно одинаковый, за исключением УПЦ, где этот показатель несколько ниже.

ОСВ (рис. 3Б) существенно и статистически значимо возрастает относительно контроля в СПЦ на протяжении всего дня (на 6,25–12,42%, в среднем на 8,85%), а в КБР незначительно и незначимо снижается относительно контроля (на 1,4–4,55%, в среднем на 2,92%). В остальных промцентрах единая тенденция отсутствует, в течение дня ОСВ в условиях загрязнения остается либо выше, либо ниже контроля без каких-либо закономерностей, поэтому в этих условиях адаптивные реакции оцениваются по среднесуточным показателям. ОСВ незначительно снижено относительно контроля в УГОК (на 2,49%) и не меняется в КМК и УПЦ. Суточная динамика ОСВ также различается: в КМК, УПЦ и УГОК наблюдается ее естественный ход – снижение к полудню и восстановление к вечеру, однако в СПЦ наблюдается постоянный рост в течение дня, а в КБР постоянное снижение в течение дня, что характеризует суточный дисбаланс данного параметра в этих условиях. Следует отметить, что ОСВ в УПЦ значительно выше, чем в других промцентрах, и в целом ОСВ снижается в ряду: УПЦ→КБР→СПЦ→КМК→УГОК.

ДВН (рис. 3В) в УГОК значительно и статистически значимо выше контроля на протяжении всего дня (на 2,16–3,81%, в среднем на 3,13%), а в СПЦ значительно и значимо ниже на протяжении всего дня (на 4,05–10,0%, в среднем на 6,72%). В остальных промцентрах единая тенденция отсутствует, в течение дня ДВН в условиях загрязнения либо выше контроля, либо ниже без каких-либо закономерностей, поэтому в этих условиях адаптивные реакции оцениваются по среднесуточным показателям. ДВН незначительно выше контроля в КБР (на 0,65%), незначительно ниже в КМК (на 1,02%) и остается без изменений в УПЦ. Суточная динамика ДВН также разная: в КМК, УПЦ,

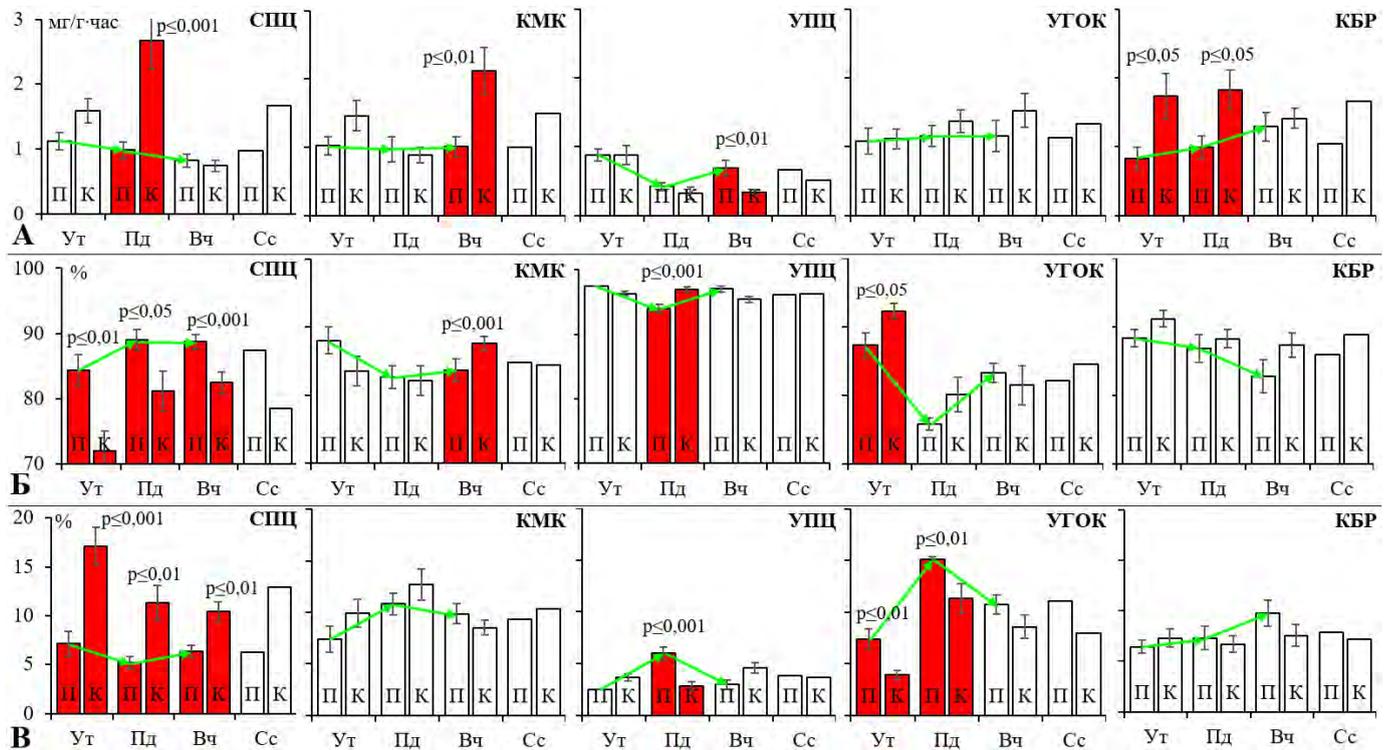


Рис. 3. Интенсивность транспирации (А), относительное содержание воды (Б) и дефицит водного насыщения (В) хвои сосны в условиях разных типов загрязнения. Условные обозначения: П – промзона; К – контроль; Ут – утро; Пд – полдень; Вч – вечер; Сс – среднесуточное значение; ■ ■ – различия статистически значимые; p – уровень значимости; → → – суточная динамика водного обмена в промзоне

УГОК наблюдается ее естественный ход – увеличение к полудню и снижение к вечеру, в КБР наблюдается постоянный рост ДВН в течение дня, а в СПЦ снижение к полудню и восстановление к вечеру, что характеризует суточный дисбаланс ДВН в этих условиях. Следует отметить, что в УГОК ДВН значительно выше, чем в других промцентрах, и в целом ДВН снижается в ряду: УГОК→КМК→КБР→СПЦ→УЩ.

Полученные данные позволили классифицировать адаптивные реакции водного обмена хвои сосны в различных типах загрязнения Южно-Уральского региона (табл. 2) и показать их относительную независимость.

В условиях СПЦ наблюдается классическая «стрессовая» адаптивная реакция у всех параметров водного обмена – снижение ИТ относительно контроля, в результате происходит увеличение ОСВ и уменьшение ДВН. У всех трех параметров в промзоне нарушена естественная суточная динамика в сторону «стрессовой» реакции, при этом между ИТ и ОСВ наблюдаются согласованные суточные соизменения, а ДВН проявляет относительную независимость. Общая реакция водного обмена в условиях полиметаллического загрязнения «стрессовая».

В условиях КМК наблюдается относительная независимость между адаптивными реакциями: при отсутствии изменений ОСВ происходит уменьшение ИТ и ДВН относительно контроля, таким образом адаптивная реакция в отношении ОСВ «нейтральная», в отношении ИТ «стрессовая», в отношении ДВН «умеренно-стрессовая». В промзоне у ИТ изменения в течение дня отсутствуют, в то время как у ОСВ и ДВН наблюдается естественная ненарушенная суточная динамика, что характеризует реакцию ИТ как «нейтральную», а ОСВ и ДВН как «умеренно-толерантную», при этом между ОСВ и ДВН наблюдаются согласованные суточные соизменения, а ИТ проявляет относительную независимость. Таким образом, наблюдается поливариантность адаптивных реакций, но с определенной долей условности общую реакцию водного обмена в условиях полиметаллического загрязнения с примесью сернистого ангидрита можно характеризовать как «умеренно-стрессовую».

В условиях УЩ при отсутствии изменений ОСВ и ДВН происходит увеличение ИТ относительно контроля, таким образом адаптивная реакция в отношении ОСВ и ДВН «нейтральная», в отношении ИТ «умеренно-толерантная». В промзоне у ИТ нарушена естественная суточная динамика в сторону «умеренно-

Адаптивные реакции параметров водного обмена хвои сосны обыкновенной при различных типах загрязнения в условиях Южно-Уральского региона

| Промцентр | Параметры водного обмена* | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|---------|-------|-------------------------|-------------------|------|---------|-------|-------------------------|-------------------|------|---------|-------|-------------------------|-------------------|
| | ИТ | | | | | ОСВ | | | | | ДВН | | | | |
| | Утро | Полдень | Вечер | Среднесуточное значение | Суточная динамика | Утро | Полдень | Вечер | Среднесуточное значение | Суточная динамика | Утро | Полдень | Вечер | Среднесуточное значение | Суточная динамика |
| СПЦ | ↓ | ↓↓ | ↑ | ↓↓ | ↘ | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑ | ↗ | ↓↓ | ↓↓ | ↓↓ | ↓↓ | ↗ |
| КМК | ↓ | ↑ | ↓↓ | ↓↓ | – | ↑ | – | ↓↓ | – | ↗ | ↓ | ↓ | ↑ | ↓ | ↘ |
| УПЦ | – | ↑ | ↑ | ↑ | ↗ | ↑ | ↓↓ | ↑ | – | ↗ | ↓ | ↑↑ | ↓ | – | ↗ |
| УГОК | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | – | ↓↓ | ↓ | ↑ | ↓ | ↗ | ↑↑ | ↑↑ | ↑ | ↑↑ | ↗ |
| КБР | ↓↓ | ↓↓ | ↓ | ↓↓ | ↗ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↘ | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↗ |

* Обозначения изменений относительно контроля: ↑↑ – значительное и статистически значимое увеличение; ↑ – незначительное и незначимое увеличение; (–) – изменения отсутствуют; ↓ – незначительное и незначимое уменьшение; ↓↓ – значительное и значимое уменьшение. Обозначения суточной динамики: ↘ – снижение в течение дня; ↗ – увеличение в течение дня; ↙ – снижение к полудню и восстановление к вечеру; ↘ – увеличение к полудню и снижение к вечеру.

стрессовой» реакции, в то время как у ОСВ и ДВН наблюдается естественная ненарушенная суточная динамика, что характеризует их реакцию как «умеренно-толерантную», при этом между ОСВ и ДВН наблюдаются согласованные суточные соизменения, а ИТ проявляет относительную независимость. Здесь также наблюдается поливариантность адаптивных реакций, но с определенной долей условности общую реакцию водного обмена в условиях нефтехимического загрязнения можно характеризовать как «нейтральную».

В условиях УГОК наблюдается относительная независимость между адаптивными реакциями: при незначительном снижении ИТ и ОСВ относительно контроля происходит значительное увеличение ДВН, таким образом адаптивная реакция в отношении ИТ «умеренно-стрессовая», в отношении ОСВ «умеренно-толерантная», в отношении ДВН «толерантная». В промзоне у ИТ изменения в течение дня отсутствуют, в то время как у ОСВ и ДВН наблюдается естественная ненарушенная суточная динамика, что характеризует реакцию ИТ как «нейтральную», а ОСВ и ДВН как «толерантную», при этом между ОСВ и ДВН наблюдаются согласованные суточные соизменения, а ИТ проявляет относительную независимость. Здесь также наблюдается поливариантность адаптивных реакций, но с определенной долей условности общую реакцию водного обмена в условиях полиметаллического загрязнения отвалов медно-колчеданной горно-

рудной промышленности можно характеризовать как «умеренно-толерантную».

В условиях КБР наблюдается относительная независимость между адаптивными реакциями: при значительном снижении ИТ и незначительном ОСВ относительно контроля происходит незначительное увеличение ДВН, таким образом адаптивная реакция в отношении ИТ «стрессовая», в отношении ОСВ и ДВН «умеренно-толерантная». У всех трех параметров водного обмена в промзоне наблюдаются согласованные суточные соизменения, при этом у всех нарушена естественная суточная динамика в сторону «толерантной» реакции. Здесь также наблюдается поливариантность адаптивных реакций, но с определенной долей условности общую реакцию водного обмена в условиях полиметаллического загрязнения отвалов бурогоугольной горнорудной промышленности можно характеризовать как «умеренно-толерантную».

Обсуждение

Анализ публикаций за последние 20 лет, посвященных водному обмену древесных растений в условиях техногенеза, позволил выделить ряд положений. Прежде всего следует отметить, что число исследований водного обмена хвои и листьев древесных видов в условиях отвалов горнорудной промышленности значительно уступает числу исследований влияния аэротехногенного загрязнения на водный обмен. По

имеющимся данным, на отвалах «Кедровского» разреза угольной промышленности Кузбасса (приоритетными загрязнителями являются тяжелые металлы Cd, Pb, Zn, Mg, Ni) показано снижение общей воды у хвой сосны обыкновенной и листьев березы повислой, причем во фракционном составе отмечается снижение ее свободной и повышение связанной формы [9]. Кроме того, у хвой сосны выявлено незначительное повышение водоудерживающей способности относительно контроля (до 3–4%), снижение суточных потерь воды (до 5%) и значительное возрастание водного дефицита (до 20%) [16]. Эти данные полностью согласуются с результатами наших исследований в условиях отвалов горнорудной промышленности Южно-Уральского региона, причем для УГОК (незначительное снижение ИТ и ОСВ и значительное увеличение ДВН) наши данные наиболее близки к результатам, полученным на отвалах «Кедровского» разреза, чем при сравнении с КБР (значительное снижение ИТ, незначительное снижение ОСВ и незначительное увеличение ДВН). Тем не менее, направление адаптивных реакций на всех трех отвалах одинаковое, а различия наблюдаются только в степени их проявления. На данном этапе можно констатировать, что экологические условия, формируемые отвалами горнорудной промышленности, в значительной степени определяют водный обмен и толерантный характер адаптивных реакций сосны.

В отношении аэротехногенного загрязнения анализ отечественных публикаций показывает значительные различия в выявленных результатах, которые во многом зависят от источников загрязнения и преобладающих загрязнителей. Наиболее общими являются результаты, когда разные древесные виды проявляют противоположные адаптивные реакции к одному и тому же типу загрязнения. Так, при усилении загрязнения атмосферы предприятиями черной металлургии, теплоэнергетики и машиностроения г. Ижевска листья березы повислой, клена ясенелистного, липы мелколистной и караганы древовидной значительно увеличивали водоудерживающую способность, а ивы козьей и яблони ягодной – незначительно. Противоположная реакция наблюдалась у тополя бальзамического и розы майской – снижение водоудерживающей способности в условиях загрязнения, а у рябины обыкновенной достоверных отличий не выявлено [3, 4]. В условиях загрязнения Сыктывкарского лесопромышленного комплекса (оксиды углерода, серы, азота, сероводород, сераорганические соединения, минеральная пыль) показано, что при возрастании устьичной проводимости наблюдалось незначительное снижение водного дефицита и значительное снижение интенсивности транспирации хвой ели сибирской при отсутствии изменений по влагоемкости, оводненности и водному потенциалу.

В хвое сосны обыкновенной, напротив, водный дефицит и интенсивность транспирации на загрязненном участке увеличиваются при отсутствии изменений по оводненности и водному потенциалу [12]. Также есть публикации, где водный обмен древесных видов характеризуется только толерантными адаптивными реакциями. Так, при повышении содержания SO₂, NO₂, CO₂, Pb и фторидов в воздухе г. Пскова отмечено увеличение интенсивности транспирации и дефицита водного насыщения, снижение водоудерживающей способности и уменьшение содержания общей воды в листьях у березы повислой, липы мелколистной, сирени обыкновенной и тополя черного, при этом уменьшается количество свободной воды, но увеличивалось количество связанной [15]. Увеличение интенсивности атмосферного загрязнения в районе сосредоточения промышленных предприятий г. Красноярска значительно снижало водоудерживающую способность листьев у березы повислой и яблони лесной, но слабо у черемухи Маака [13]. Анализ этих результатов показывает, что в условиях аэротехногенного загрязнения водный обмен листовых и светлохвойных древесных видов характеризуется главным образом толерантными адаптивными реакциями, стрессовые адаптивные реакции наблюдаются в отдельных случаях и в основном при загрязнении тяжелыми металлами. В наших исследованиях только в условиях полиметаллического аэротехногенного загрязнения СПЦ и КМК наблюдается стрессовая адаптивная реакция водного обмена сосны, ярко выраженная в условиях СПЦ и менее выраженная в КМК. В целом это соответствует литературным данным. Однако нефтехимическое загрязнение практически не оказывает влияния на водный обмен хвой сосны, что сопровождается нейтральной адаптивной реакцией.

Результаты исследований зарубежных авторов входят в противоречие с нашими выводами, однако здесь следует учесть, что в публикациях последних лет обнаружены работы только с листовыми древесными видами, а анализ водного обмена хвойных видов в значительной степени относится к прошлому столетию. Не следует также исключать различия в климатических условиях районов проведенных исследований. Так, в условиях избыточных концентраций Cd, Pb, Zn, Fe и Mn в почвах промышленного центра г. Сосновец (Польша) выявлено пониженное относительно содержание воды (до 76%) в листьях робинии, причем с усилением загрязнения этот показатель значительно снижается (на 9% относительно контроля) со значимой положительной корреляцией с содержанием металлов в почве (до 0,51) [20]. В условиях загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами городской среды г. Кракова с усилением загрязнения возрастает оводненность листьев у липы мелколистной и тополя канадского [18]. Обследование деревьев

лагерстремии, растущих вдоль обочины Национального шоссе в городе Дехрадун (Индия) показало, что при сравнении с контролем у листьев снижается интенсивность транспирации на 42,14%, устьичная проводимость на 66,85% и устьичное сопротивление на 212,2%, но при этом наблюдалась повышенная эффективность водопользования на 9,4% [19]. Анализ этих результатов показывает толерантную реакцию водного обмена древесных видов к полиметаллическому загрязнению и стрессовую реакцию к углеводородному, в то время как в условиях Южно-Уральского региона полиметаллическое загрязнение сопровождается стрессовой адаптивной реакцией водного обмена хвои сосны, а углеводородное загрязнение – нейтральной адаптивной реакцией. Следует также отметить общую малочисленность зарубежных исследований в отношении водного обмена древесных видов в условиях техногенеза.

В некоторых исследованиях авторы прямо указывают на отсутствие тесных и прямых взаимосвязей между параметрами водного обмена в условиях загрязнения [12, 15]. За исключением СПЦ данная закономерность показана нами в условиях загрязнения остальных четырех промцентров, наиболее ярко проявляющаяся в КМК, УГОК и КБР. Кроме того: 1) нами показаны нарушение суточной динамики водного обмена в условиях загрязнения и отсутствие тесных и прямых взаимосвязей между параметрами водного обмена в суточной динамике; 2) качественная оценка выявленных реакций позволяет показать направление адаптации водного обмена хвои сосны. В материалах отечественных и зарубежных исследователей такие результаты отсутствуют, притом что в проанализированных публикациях все авторы указывают на безусловно адаптивный характер выявленных ими реакций.

Выводы

Аэротехногенное полиметаллическое загрязнение и полиметаллическое с примесью сернистого ангидрида подавляют водный обмен хвои сосны, вызывая стрессовые и умеренно-стрессовые адаптивные реакции, что свидетельствует о низком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения, в то

время как полиметаллическое загрязнение в условиях медно-колчеданных и буроугольных отвалов горнорудной промышленности стимулирует усиление водного обмена хвои, вызывая умеренно-толерантные адаптивные реакции, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале сосны к данным типам загрязнения. Нефтехимическое загрязнение не оказывает значительного влияния на водный обмен хвои, что сопровождается нейтральной адаптивной реакцией. Кроме того, в условиях аэротехногенного полиметаллического загрязнения и отвалов буроугольной промышленности нарушена суточная динамика водного обмена, что сопровождается стрессовой адаптивной реакцией в первом случае и толерантной во втором; остальные типы загрязнения не оказывают значительного влияния на суточную динамику водного обмена. Показана относительная независимость между параметрами водного обмена, когда их адаптивные реакции на один и тот же тип загрязнения различаются, что говорит об экологической пластичности сосны по отношению к разным типам загрязнения. Качественная оценка выявленных реакций позволяет рекомендовать использование сосны для создания защитных насаждений в тех условиях загрязнения, где у нее проявляются толерантные адаптивные реакции и высокий адаптивный потенциал и отказаться от ее использования в условиях, где проявляются стрессовые адаптивные реакции и низкий адаптивный потенциал.

Благодарности. В работе использована приборная база Центра коллективного пользования «Агидель» УФИЦ РАН.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00570-24-01 по теме № 123020700152-5 «Устойчивость лесобразующих древесных видов и эколого-биологические адаптации с учетом антропогенной трансформации ландшафтно-природных комплексов».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Андросова АВ. Транспирация как ключевой показатель водного обмена. Научный альманах. 2020;2(64):111-4.
2. Бейдемман ИН. К методике изучения водного режима растений. Бот журн. 1956;41(2):212-9.
3. Бухарина ИЛ, Двоглазова АА. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет»; 2010.
4. Бухарина ИЛ, Поварницина ТМ, Ведерников КЕ. Экологобиологические особенности дре-

- весных растений в урбанизированной среде. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА; 2007.
5. Веретенников АВ. Фотосинтез древесных растений. Воронеж: ВГУ; 1980.
 6. Гетко НВ. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. Минск: Наука и техника; 1989.
 7. Григоренко АВ. Физиологические и морфологические показатели хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения. Вестник КрасГАУ. 2015;4:15-9.
 8. Иванов ЛА, Силина АА, Цельникер ЮЛ. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях. Бот журн. 1950;35(2):171-85.
 9. Колмогорова ЕЮ, Неверова ОА. Изучение водного режима и годичного прироста побегов у древесных растений, произрастающих на породном отвале Кедровского угольного разреза. Вестник КрасГАУ. 2016;9:87-94.
 10. Кузнецов ВВ, Дмитриева ГА. Физиология растений. Том 1: учебник для вузов. М.: Издательство Юрайт; 2024.
 11. Кулагин ЮЗ. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука; 1974.
 12. Сенькина СН. Влияние техногенного загрязнения на показатели водного обмена *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. В кн.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием; 05 декабря 2019. Киров: Вятский государственный университет; 2019. С. 254-7.
 13. Сунцова ЛН, Иншаков ЕМ, Козик ЕВ. Оценка состояния городской среды методом фитоиндикации (на примере г. Красноярск). Лесной журн. 2011;4:29-32.
 14. Уразгильдин РВ. Лесообразующие виды Предуралья в условиях техногенеза: сравнительная эколого-биологическая характеристика, видоспецифичность, адаптивные реакции, адаптивные стратегии (диссертация). Уфа: УИБ УФИЦ РАН; 2021.
 15. Хмелевская ИА. Эколого-физиологические исследования древесных пород в г. Пскове. Вестн Псковского гос педагогич ун-та сер естеств физ-мат науки. 2008;6:37-57.
 16. Цандекова ОЛ, Колмогорова ЕЮ. Особенности адаптационных перестроек хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский». Вестник Оренбургского государственного университета. 2016;6(194):81-5.
 17. Эржапова РС, Эржапова РС. Физиология растений. Водный режим растений. Учебное пособие. Грозный: Издательство ЧГУ; 2015.
- Общий список литературы/References**
1. Androsova AV. [Transpirations as a key indicator of water metabolism]. Nauchnyi Almanakh. 2020;2(64):111-4. (In Russ.)
 2. Beydeman IN. [On a method for studying the water regimen of plants]. Bot Zhurn. 1956;41(2):212-9. (In Russ.)
 3. Bukharina IL, Dvoyeglazova AA. Bioekologivheskiye Osobennosti Travianistykh i Drevesnykh Rasteniy v Gorodskigh Nasazhdeniyakh. [Bioecological Features of Herbaceous and Woody Plants in Urban Plantations]. Izhevsk: Udmurtskiy Universitet; 2010. (In Russ.)
 4. Bukharina IL, Povarnitsina TM, Vedernikov KE. Ekobiologicheskiye Osobennosti Drevesnykh Rasteniy v Urbanizirovannoy Srede. [Ecological and Biological Features of Woody Plants in an Urbanized Environment]. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA; 2007. (In Russ.)
 5. Veretennikov AV. Fotosintez Drevesnykh Rasteniy. [Photosynthesis of woody plants]. Voronezh: VGU; 1980. (In Russ.)
 6. Getko NV. Rasteniya v Teknogennoy Srede: Struktura i Funktsiya Assimiliatsionnogo Apparata. [Plants in technogenic environment: Structure and function of assimilation apparatus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1989. (In Russ.)
 7. Grigorenko AV. [Physiological and morphological indicators of the scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) In the conditions of aero-anthropogenic pollution]. Vestnik KrasGAU. 2015;4:15-19. (In Russ.)
 8. Ivanov LA, Silina AA, Cel'niker YuL. [On the method of rapid weighing for determination of transpiration under natural conditions]. Bot Zhurn. 1950;35(2):171-85.
 9. Kolmogorova YeYu, Neverova OA. [Study of water regime and annual growth of shoots in woody plants growing on spoil dump Kedrovskiy coal mine]. Vestnik KrasGAU. 2016;9:87-94. (In Russ.)
 10. Kuznecov VV, Dmitrieva GA. Fiziologiya Rasteniy. Tom 1. [Physiology of Plants. Vol. 1]. Moscow: Izdatelstvo Yurayt; 2024. (In Russ.)
 11. Kulagin YuZ. Drevesnye Rasteniya i Promyshlennaya Sreda. [Woody plants and industrial environment]. Moscow: Nauka; 1974. (In Russ.)
 12. Sen'kina SN. [Impact of technogenic pollution on water metabolism indicators *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb]. In: Biodiagnostika Sostoyaniya Prirodnykh i Prirodno-Tekhnogennykh Sistem. Kirov: Vyatskiy Gosudarstvennyj Universitet; 2019. P. 254-27. (In Russ.)

13. Suntsova LN, Inshakov YeM, Kozik YeV. [Assessment of urban environment state by phytoindication method (as exemplified with Krasnoyarsk)]. *Lesnoy Zhurnal*. 2011;4:29-32. (In Russ.)
14. Urazgildin RV. *Lesoobrazuyushchiye Vidy Preduralya v Usloviyakh Tekhnogeneza: Sravnitel'naya Ekologo-Biologicheskaya Kharakteristika, Vidospecifichnost', Adaptivnye Rreaktsii, Adaptivnye Strategii*. PhD Theses Ufa: UIB UFIC RAN; 2021. (In Russ.)
15. Khmelevskaya IA. [Ecological and physiological studies of tree species in Pskov city]. *Vestnik Pskovskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta Seriya Yestestvennyye i Fiziko-Matematicheskiye Nauki*. 2008;6:37-57. (In Russ.)
16. Tsandekova OL, Kolmogorova YeYu. [Characteristics of adaptation reformations of *Pinus sylvestris* L. needles under the conditions of the rock dump of the Kedrovsky coal mine]. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2016;6(194):81-5. (In Russ.)
17. Erzhapova RS, Erzhapova RS. *Fiziologiya Rasteniy Vondyi Rezhim Rasteniy*. [Plant physiology. Water regime of plants] Izdatelstvo ChGU; 2015. (In Russ.)
18. Klamerus-Iwan A, Błońska E, Lasota J, Waligórski P, Kalandyk A. Seasonal variability of leaf water capacity and wettability under the influence of pollution in different city zones. *Atmosph Pollut Res*. 2018;9(3):455-63.
19. Singh H, Savita, Sharma R, Sinha S, Kumar M, Kumar P, Verma A, Sharma SK. Physiological functioning of *Lagerstroemia speciosa* L. under heavy roadside traffic: an approach to screen potential species for abatement of urban air pollution. *Biotech*. 2017;7(1):61.
20. Skrynetska I, Ciepał R, Kandziora-Ciupa M, Barczyk G, Nadgórska-Socha A. Ecophysiological responses to environmental pollution of selected plant species in an industrial urban area. *Int J Environ Res*. 2018;12:255-67.



СОДЕРЖАНИЕ ХРОМА В ПОЧВАХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

К.А. Дурягина¹, А.И. Иванов^{2*}, Д.Г. Смирнов^{3*}

¹ Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,
Москва, Россия;

² Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия;

³ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

* Эл. почта: rcgekim@mail.ru, eptesicus@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.07.2024; принята к печати 06.11.2024

В условиях Приволжской возвышенности определено содержание хрома в серых лесных почвах, находящихся под лесной растительностью. Показано, что среднее содержание Cr в изученных почвах составляет 8,16 мг/кг. Это в 8,6 раза меньше кларка Cr в почвах мира. Низкое содержание Cr в изученных разновидностях серых лесных почв связано с тем, что они формируются на осадочных породах, бедных по Cr. Содержание Cr во всех отобранных пробах почвы находится в узком диапазоне от 7,2 до 11,8 мг/кг. Содержание подвижных форм хрома в почвах показало тесную их связь с валовым содержанием Cr. Во всех изученных пробах подвижные формы составляли 1,2–1,5% от валовых концентраций. Изученные представители различных систематических групп живых организмов существенно отличаются друг от друга по содержанию Cr. Средняя концентрация Cr (мг/кг) в плодовых телах грибов, относящихся к классу Agaricomycetes, составила 0,82, в слоевищах лишайников – 0,34, в талломах мхов – 0,52. Корреляция между концентрациями Cr в питающих субстратах и плодовых телах грибов не наблюдается. Среднее содержание Cr в вегетативных органах сосудистых растений составило 0,50 мг/кг. Минимальное содержание выявлено у кустарников, немного выше оно у деревьев, а максимальное у трав. Полученные величины соответствуют средним показателям для экологически чистых территорий страны.

Ключевые слова: лесные экосистемы, биологические объекты, почва, токсичные элементы.

CONTENT OF CHROME IN SOILS AND BIOLOGICAL OBJECTS OF VOLGA HIGHLANDS FOREST ECOSYSTEMS

K.A. Duriagina¹, A.I. Ivanov^{2*}, D.G. Smirnov^{3*}

¹ Federal Agency for Safe Storage and Elimination of Chemical Weapon, Moscow, Russia;

² Penza State Agrarian University, Penza, Russia;

³ Pensza State University, Penza, Russia

* E-mail: rcgekim@mail.ru, eptesicus@mail.ru

Chromium content in gray forest soils under forest vegetation was determined in Volga Upland. The average content of Cr in the soils studied is 8.16 mg/kg. This is 8.6 times less than the Clarke number of Cr in most soils of the world. Cr content in the varieties of gray forest soils studied is low due to that the soils are formed on sedimentary rocks, which are poor in this element. Cr content in all soil samples is similar: it ranges from 7.2 to 11.8 mg/kg. The content of the mobile forms of chromium in soils closely correlates with the gross Cr content. In all samples studied, the contents of the mobile forms amounted to 1.2-1.5% of the gross concentrations. Different systematic groups of living organisms significantly differ from each other in Cr content. The average content of Cr (mg/kg) is 0.82 in the fruiting bodies of Agaricomycetes mushrooms, 0.34 in lichen layers, and 0.52 in moss thalloms. No correlation between Cr concentrations in feeding substrates and fruiting bodies of fungi was observed. The average Cr content in the vegetative organs of vascular plants is 0.50 mg/kg. Cr content is minimum in shrubs, slightly higher in trees, and maximum in grasses. These values correspond to the average values for ecologically clean areas in Russia.

Keywords: forest ecosystems, biological objects, soil, toxic elements.

Введение

Хром – жизненно важный химический элемент. Его соединения являются постоянной составной частью живых клеток [3]. Однако в превышающих потреб-

ность живых организмов количествах Cr, как и другие тяжелые металлы, проявляет острую токсичность [12, 13, 16]. Биогеохимический цикл хрома при сравнении с другими токсичными химическими элементами изучен

значительно слабее. Причиной этого является сильная вариабельность содержания Cr в почвах и подстилающих породах в разных регионах и геохимических провинциях [2]. В связи с этим для понимания общих закономерностей биогеохимического цикла элемента особое значение имеют исследования в тех регионах, где содержание хрома в объектах окружающей среды до настоящего времени не изучено. Содержание Cr в почвах и биологических объектах лесных экосистем Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области ранее не изучалось. Этим определяется научная новизна выбранного направления исследований.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в восточной части Пензенской области Российской Федерации (рис. 1), на территории которой представлен весь спектр разновидностей серых лесных почв, а биологическое разнообразие, свойственное лесным экосистемам Приволжской возвышенности, максимальное [5]. Объектами исследований являлись лесные экосистемы. Содержание Cr определяли в почвах, находящихся под лесной растительностью, в плодовых телах грибов класса агарикомицетов (*Agaricomycetes*), в слоевищах лишайников, в талломах мхов и в вегетативных органах сосудистых растений, относящихся к различным жизненным формам. В связи с тем, что в районе исследований нет предприятий металлургической и химической промышленности, а также объектов энергетики, работающих на твердом топливе, он может быть

охарактеризован как территория, на которой отсутствуют источники выбросов, содержащих хром. Исследования проводили с сентября 2016 по май 2020 года.

Отбор проб почв осуществлялся по ГОСТ 17.4.3.01-83. Для отбора проб каждой почвенной разновидности было использовано не менее трех площадок размером 5 на 5 м, на которых методом конверта отбирались пробы из каждого почвенного горизонта на всю глубину почвенного профиля.

Пробы биоматериала растений и грибов отбирались в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и в продукции растениеводства [10] и ГОСТ 27262-87. Под пологом леса закладывали по 10 учетных площадок размером 1 м², располагая по диагонали исследуемой территории. Травостой скашивали на высоте 3–5 см и собирали. Затем разбирали по видам. Отобранные точечные пробы зеленой массы каждого вида раскладывали на полиэтиленовой пленке, тщательно перемешивали и получали объединенную пробу. Из объединенной пробы выбирали среднюю пробу для анализа. Для составления средней пробы брали точечные пробы весом 150–200 г. Вес средней пробы до сушки составлял 1,5–2 кг. Этим же принципам следовали при отборе проб листьев и других органов древесных растений. Пробы корки и древесины отбирались из нижней комлевой части стволов на высоте 1,2–1,5 м деревьев среднего возраста (50–70 лет). Для изучения содержания хрома в корнях использовались окончания корней диаметром не более 1 см.

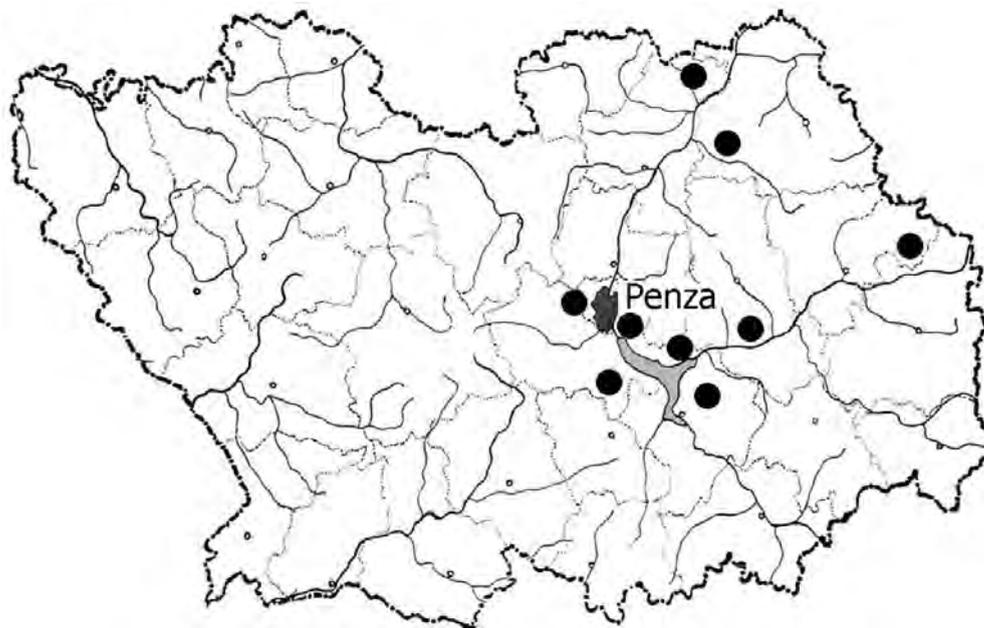


Рис. 1. Места отбора проб почвы и биоматериала

Пробы плодовых тел грибов, лишайников и мхов отбирали не менее чем на трех разных участках. Затем формировали объединенную пробу и среднюю пробу для анализа.

Анализ образцов почв и биоматериала проводили на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915 МД. Лабораторные исследования осуществляли на базе аккредитованной научно-исследовательской лаборатории филиала ФБУ «Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности и торговли РФ» (войсковая часть 70855) – 1206 объект по хранению и уничтожению химического оружия (войсковая часть 21222).

Для сравнительной оценки описания данных по накоплению Cr в исследуемых объектах проводили вычисления значений медианы (Me), процентилей (25, 75%) и показателей Min–Max.

Для выявления различий применяли дисперсионный анализ (ANOVA). Апостериорные множественные сравнения проводили с помощью параметрического критерия статистически значимой разности Тьюки (Tukey's HSD test) и непараметрического критерия Краскела – Уоллиса (KW-H). Для возможности применения критерия Тьюки проводили проверку данных на однородность групповых дисперсий с помощью индекса Левинса. Критерий Тьюки считался применимым, если групповые дисперсии были однородны. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Для установления уровня сходства между разными типами почв применяли иерархический кластерный анализ с использованием алгоритма невзвешенного попарного сравнения на основе арифметического среднего (UPGMA) и дистанции Эвклида.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием программы Microsoft Excel и при помощи статистического пакета Past 3 [18].

Результаты и обсуждение

Среднее содержание Cr в изученных почвах составляет 8,16 мг/кг. Эта величина в 8,6 раза меньше кларка рассматриваемого элемента в почвах мира [7] и в 8,2 раза меньше, чем в почвах Московской обл. [2], в 4,2 раза меньше, чем в почвах Республики Беларусь [12], и значительно меньше, чем в почвах урбанизированных территорий, испытывающих локальное загрязнение [15]. Низкое содержание Cr в изученных нами разновидностях серых лесных почв связано с тем, что они формируются исключительно на осадочных породах – песках, песчаниках и бескарбонатных глинах, которые бедны рассматриваемым элементом [6]. Содержание Cr во всех отобранных пробах почвы близкое и находится в диапазоне от 7,2 до 11,8 мг/кг.

По валовому содержанию Cr разновидности серых лесных почв четко дифференцируются на две группы. В первую входят бедные хромом почвенные разновидности песчаного и супесчаного гранулометрического состава, во вторую – относительно богатые хромом суглинистые и глинистые почвы (рис. 2). Отмеченная

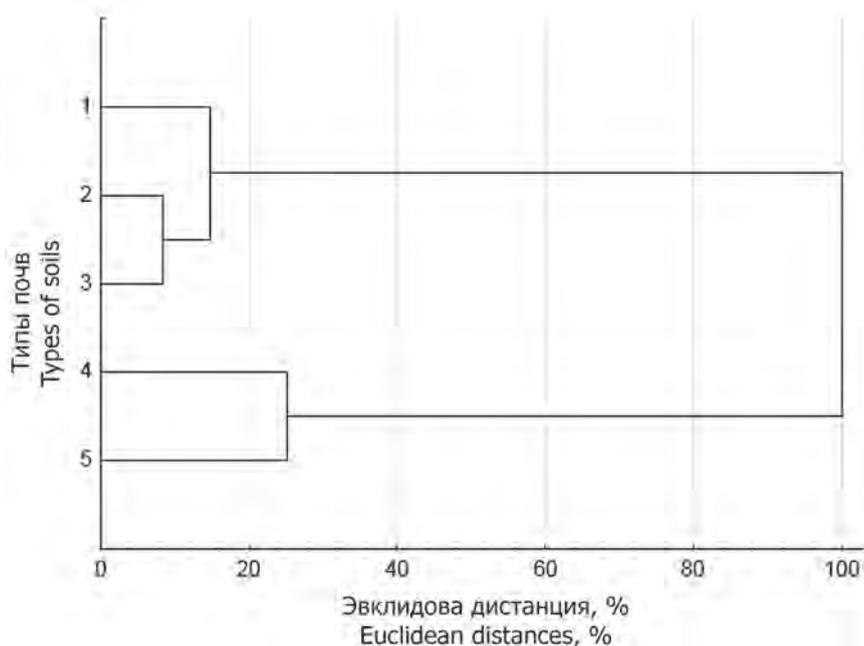


Рис. 2. Дендрограмма сходства разновидностей серых лесных почв по содержанию хрома: 1 – светло-серая лесная супесчаная среднемошная; 2 – светло-серая лесная супесчаная маломощная; 3 – светло-серая лесная песчаная маломощная; 4 – серая лесная легкосуглинистая среднемошная; 5 – серая лесная тяжелосуглинистая среднемошная ($R_{сopH} = 0,98$)

закономерность связана с тем, что суглинистые почвы обладают более высокой способностью поглощать и удерживать анионы и катионы, а также более высоким содержанием микроэлементов в глинистых породах, чем в песках [9].

Содержание подвижных форм хрома тесно связано с его валовым содержанием. Во всех изученных пробах подвижные формы составляли 1,2–1,5% валовых концентраций, что значительно ниже величины ПДК, которая согласно ГН 2.1.7.2041-06 составляет 6 мг/кг.

Изученные представители различных систематических групп живых организмов существенно различаются по содержанию Cr. Его наибольшие концентрации и максимальный размах медианных показателей были найдены у агарикомицетов. Сосудистые растения несколько уступали им в этом отношении. Относительно высоким было содержание хрома в талломах мхов. Слоевища лишайников содержали хром в наименьших концентрациях (рис. 3).

Поступление тяжелых металлов из почвы в биологические объекты в лесных экосистемах теснейшим образом связано с жизнедеятельностью грибов, относящихся к классу агарикомицетов [20]. Было установлено, что средняя концентрация хрома в их плодовых телах в районе исследований составляет 0,82 мг/кг сухого вещества. Полученная величина сопоставима с данными других исследователей. Так, для причерноморских районов Турции она составляет 0,38 мг/кг [19], для Калининградской области – 1,7 мг/кг [10].

По своей функциональной роли в лесных экосистемах агарикомицеты подразделяют на ряд эколого-трофических групп [7]. Для изучения особенностей накопления Cr их представителями было взято по двадцать наиболее распространенных видов ксилотрофов, напочвенных сапротрофов и симбиотрофов [7].

В целом, между тремя рассмотренными эколого-трофическими группами агарикомицетов по медианным показателям статистические различия не выявлены (рис. 4). Однако в накоплении Cr отдельными видами статистически достоверные отличия определены.

Среди изученных видов агарикомицетов максимальные концентрации Cr в плодовых телах были определены у *Schizophyllum commune* (2,23 мг/кг), *Amanita phalloides* (1,74 мг/кг), *Agrocybe praecox* (1,60 мг/кг) и *Amanita pantherina* (1,38 мг/кг).

Корреляция между концентрациями Cr в питающих субстратах и плодовых телах агарикомицетов не наблюдается. Это связано с тем, что накопление Cr в плодовых телах имеет видовую специфичность и зависит от неодинаковой потребности различных видов грибов в этом элементе [5].

Содержание хрома нами изучалось также в талломах лишайников грибов, объединяемых обычно под общим названием лишайники. Для исследований были взяты два наиболее распространенных вида эпифитов: *Hypogymnia physodes* и *Parmelia sulcata*, а также эпигейный лишайник *Cladonia sylvatica*. Последний вид обычно доминирует в напочвенном покрове

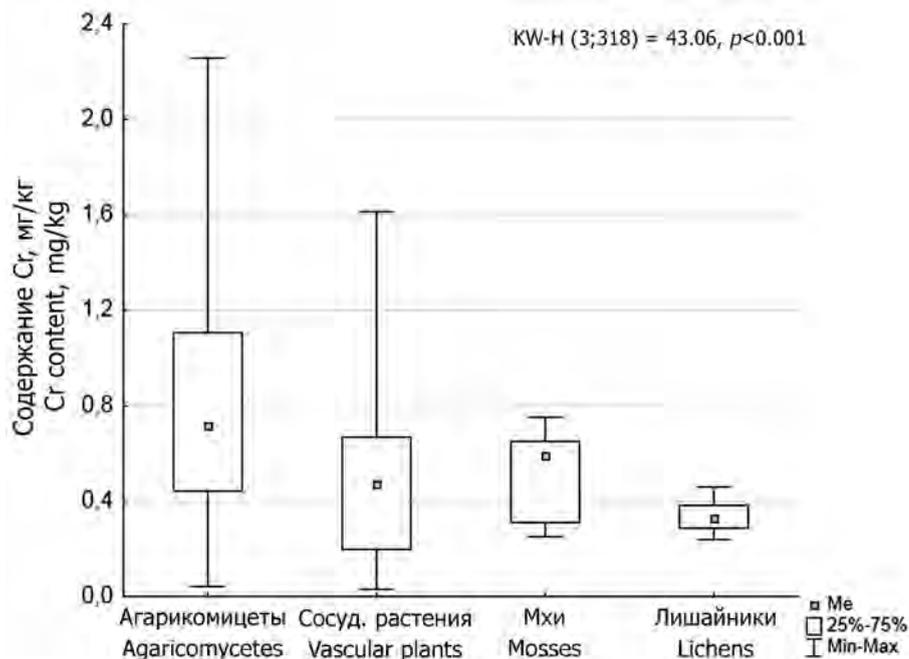


Рис. 3. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания хрома (медиана, квартили и min–max) в биоматериале различных групп живых организмов и тест Краскела–Уолиса (KW-H) на различие между значениями медиан

лишайниковых сосняков рассматриваемого региона. Максимальная концентрация была определена для эпифитного вида *Hypogymnia physodes* (0,42 мг/кг), который обладает повышенной сорбционной способностью и используется в качестве биоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха [16]. Содержание рассматриваемого элемента в талломах других изученных видов выражалось близкими значениями и составляло для *Parmelia sulcata* 0,31 мг/кг, а для *Cladonia sylvatica* 0,29 мг/кг. Среднее содержание хрома в слоевищах изученных видов лишайников в районе исследований составило 0,34 мг/кг. Как показывает анализ литературных источников, содержание этого элемента в слоевищах лишайников варьирует в очень широких пределах – от 0,12 до 2,65 мг/кг, а в условиях локального загрязнения может достигать 5–10 мг/кг [16]. В связи с тем, что в районе исследований отсутствуют локальные источники выбросов, содержащих хром, полученные в результате измерений значения соответствуют средним показателям для экологически чистых территорий страны.

Мхи, как и лишайники, не имеют корней и получают различные химические элементы главным образом из атмосферных выпадений. В связи с этим их содержание, как и в лишайниках, сильно варьирует. В районах, где воздух загрязнен тяжелыми металлами, их содержание в мхах может быть очень высоким [1]. Однако о фоновом содержании хрома в талломах мхов в экосистемах, не испытывающих локального загрязнения, информация практически отсутствует.

Содержание хрома нами изучалось в талломах листовых зеленых мхов. Для исследований были взяты два наиболее распространенных вида эпигейных мхов: *Dicranum polysetum* и *Pleurozium schreberi*, а также эпифит *Stereodon pallescens*. Последний вид обычно доминирует среди мхов, обитающих на стволах большинства видов деревьев в лесах района исследований. Максимальная концентрация была определена для эпифитного вида *Stereodon pallescens* (0,68 мг/кг), который обладает повышенной сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам и может быть использован в качестве биоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха [4]. Содержание рассматриваемого элемента в талломах других изученных видов выражалось близкими значениями и составляло для *Dicranum polysetum* 0,42 мг/кг, а для *Pleurozium schreberi* 0,46 мг/кг. Среднее содержание хрома в слоевищах изученных видов мхов в районе исследований составило 0,52 мг/кг.

В результате изучения содержания хрома в вегетативных и репродуктивных органах растений различных жизненных форм – деревьев, кустарников и многолетних трав – установлено, что наиболее активно хром в вегетативных органах накапливают травы (62 мг/кг). Среднее содержание хрома в вегетативных органах деревьев и кустарников было одинаковым – 0,46 и 0,42 мг/кг соответственно ($p > 0,05$). Однако деревьям свойствен большой диапазон изменчивости медианных показателей (рис. 5).

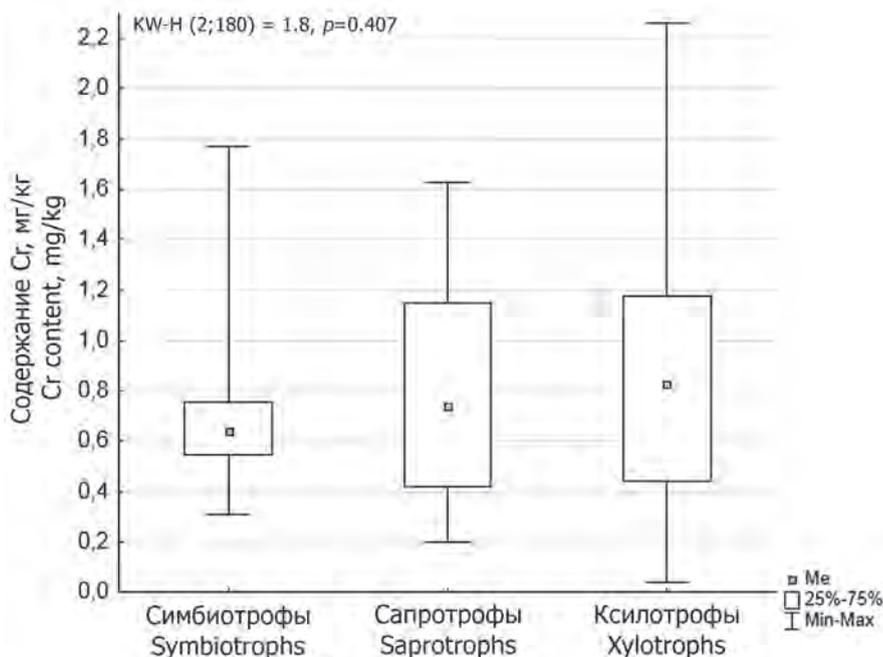


Рис. 4. Содержание хрома (медиана, квартили и min–max) в плодовых телах грибов различных трофических групп (мг/кг) и тест Краскела–Уолиса (KW-H) на различие между значениями медиан

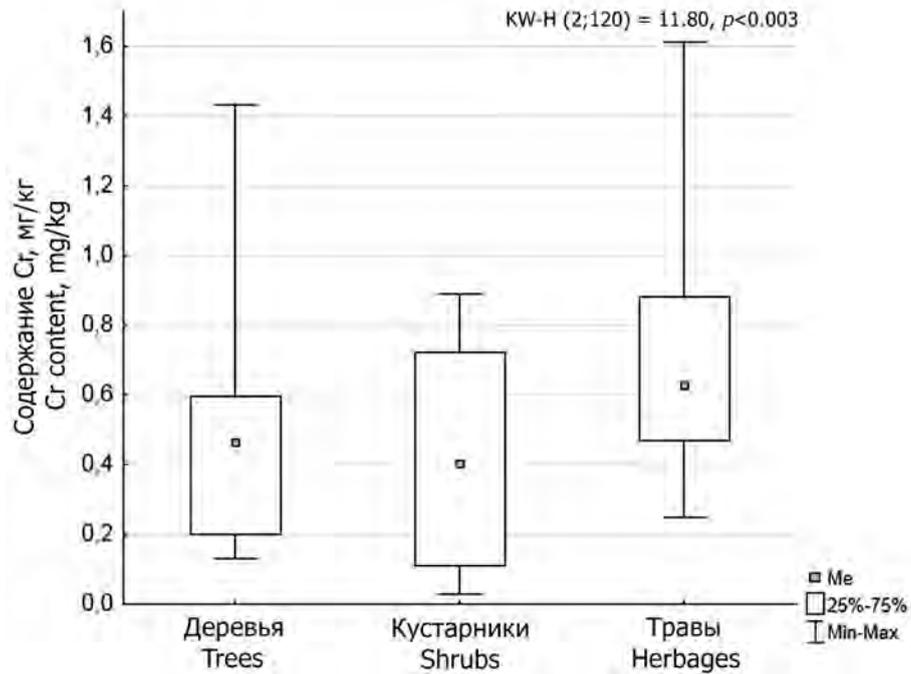


Рис. 5. Содержание хрома в вегетативных органах сосудистых растений различных жизненных форм и тест Краскела–Уолиса (KW-H) на различие между значениями медиан

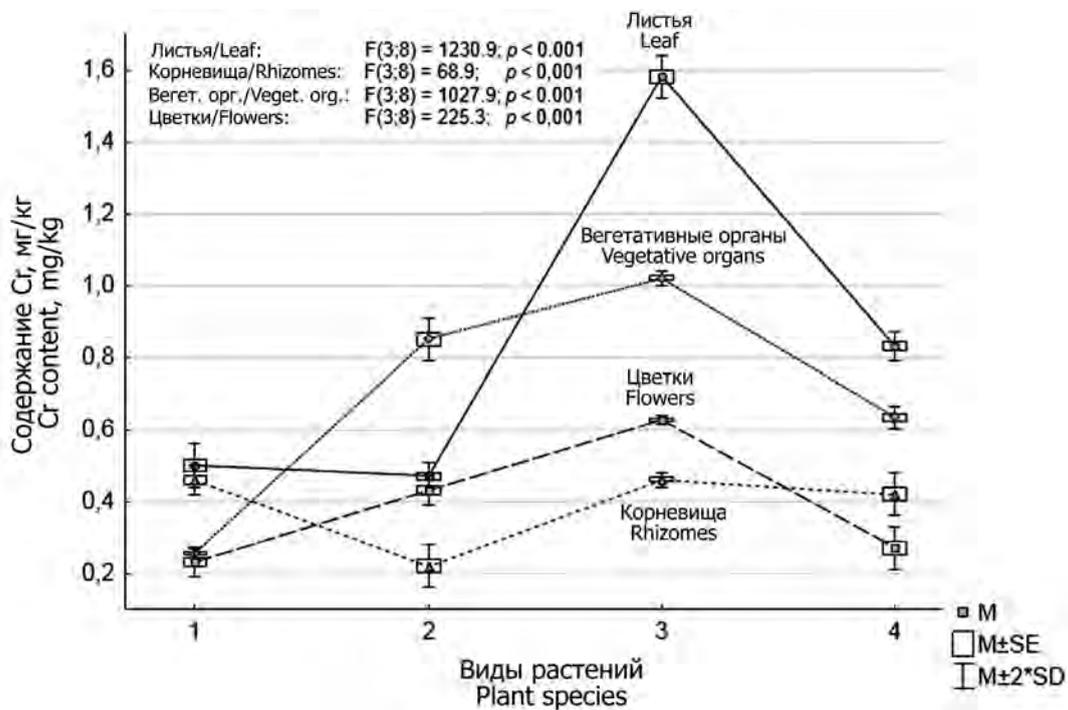


Рис. 6. Диаграмма размаха изменчивости значений содержание хрома в вегетативных органах и цветках травянистых растений: 1 – *Aegorodium podagraria*; 2 – *Anemone ranunculoides*; 3 – *Carex pilosa*; 4 – *Stellaria holostea* и результаты дисперсионного анализа

Изучение закономерностей накопления хрома наиболее распространенными видами травянистых растений, растущих под пологом леса, – *Aegopodium podagraria*, *Anemone ranunculoides*, *Carex pilosa*, *Stellaria holostea*, – показало, что эти виды трав накапливают хром до разных концентраций (рис. 6). Различия между значениями содержания хрома в вегетативных органах разных видов оказались статистически значимыми. Наименьшие значения определены для *A. ranunculoides* (0,26 мг/кг), средние – для *S. holostea* (0,62 мг/кг) и *A. podagraria* (0,82 мг/кг), а максимальные – для *C. pilosa* (1,01 мг/кг). Максимальный показатель превышал минимальный в 3,9 раза. У всех изученных видов в листьях содержание хрома было выше, чем в корневищах. В цветках хром содержался в 1,5 раза меньшем количестве, чем в вегетативных органах.

В накоплении хрома древесными растениями также наблюдалась видовая специфичность. По содержанию рассматриваемого элемента в вегетативных органах (мг/кг) деревья распределились в следующей последовательности: дуб *Quercus robur* – 0,62; береза *Betula pendula* – 0,47; липа *Tilia cordata* – 0,34; сосна *Pinus sylvestris* – 0,32.

Содержание хрома в различных тканях и органах деревьев не одинаково. Для всех изученных видов на-

блюдается одна и та же закономерность. Имеющиеся различия статистически достоверны. Минимальные значения были определены для коры, максимальные – для хвои и листьев. Корневая система и древесина ствола заняли по этому показателю среднее положение (рис. 7).

Содержание хрома в репродуктивных органах деревьев в 1,7 раза меньше, чем в вегетативных органах. Его содержание в плодах несколько ниже, чем в цветках. Различия статистически значимы (рис. 8).

Различные виды деревьев накапливают хром в репродуктивных органах не одинаково (рис. 8). Его аккумуляции в цветках и плодах коррелируют с таковой в вегетативных органах. Максимальные концентрации рассматриваемого элемента, как в вегетативных, так и в репродуктивных органах были определены у *Q. robur*, минимальные – у *T. cordata*.

Результаты измерения содержания хрома в вегетативных и репродуктивных органах кустарников, наиболее распространенных в районе исследований, показали, что его среднее содержание в вегетативных органах составляло 0,42 мг/кг.

Разные виды кустарников накапливают хром не одинаково, хотя и до близких уровней в вегетативных органах (рис. 9). Наибольшая концентрация была определена у *C. avellana* (0,43 мг/кг), у *L. xylosteum*

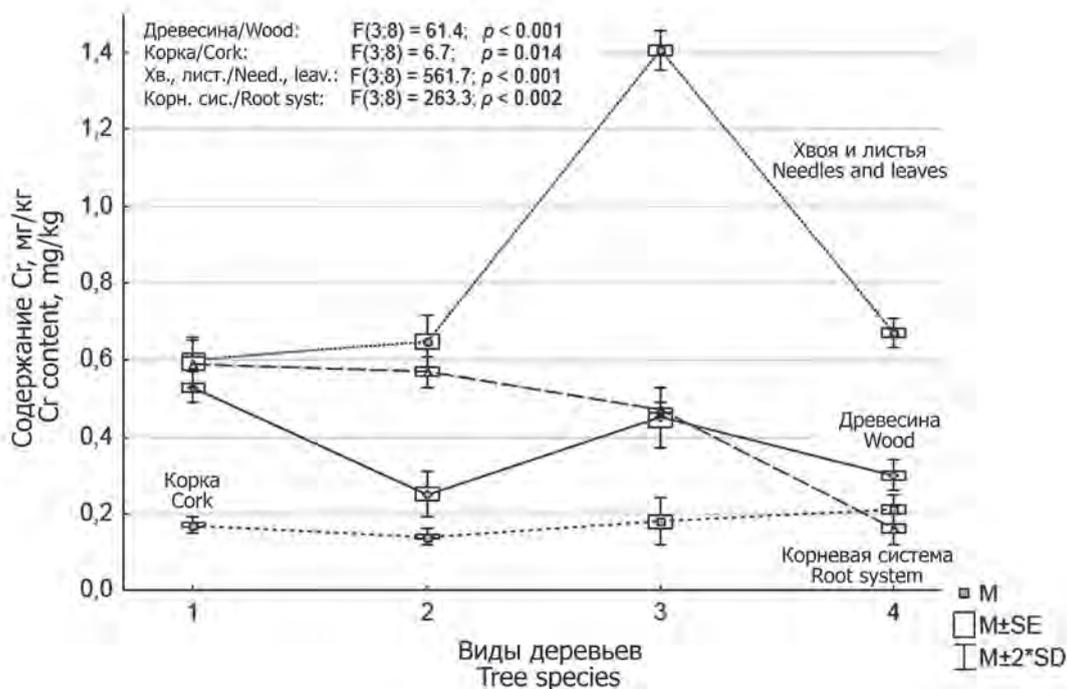


Рис. 7. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в органах и тканях деревьев: 1 – *Betula pendula*; 2 – *Quercus robur*; 3 – *Pinus sylvestris*; 4 – *Tilia cordata* и результаты дисперсионного анализа

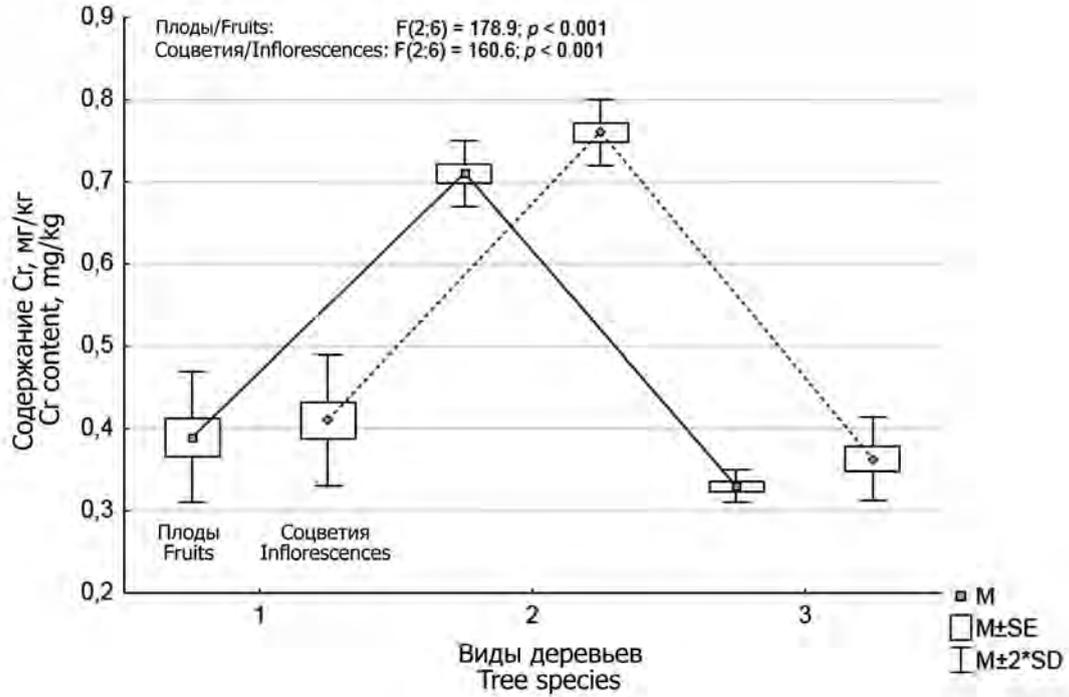


Рис. 8. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания хрома в репродуктивных органах деревьев: 1 – *Betula pendula*; 2 – *Quercus robur*; 3 – *Tilia cordata* и результаты дисперсионного анализа

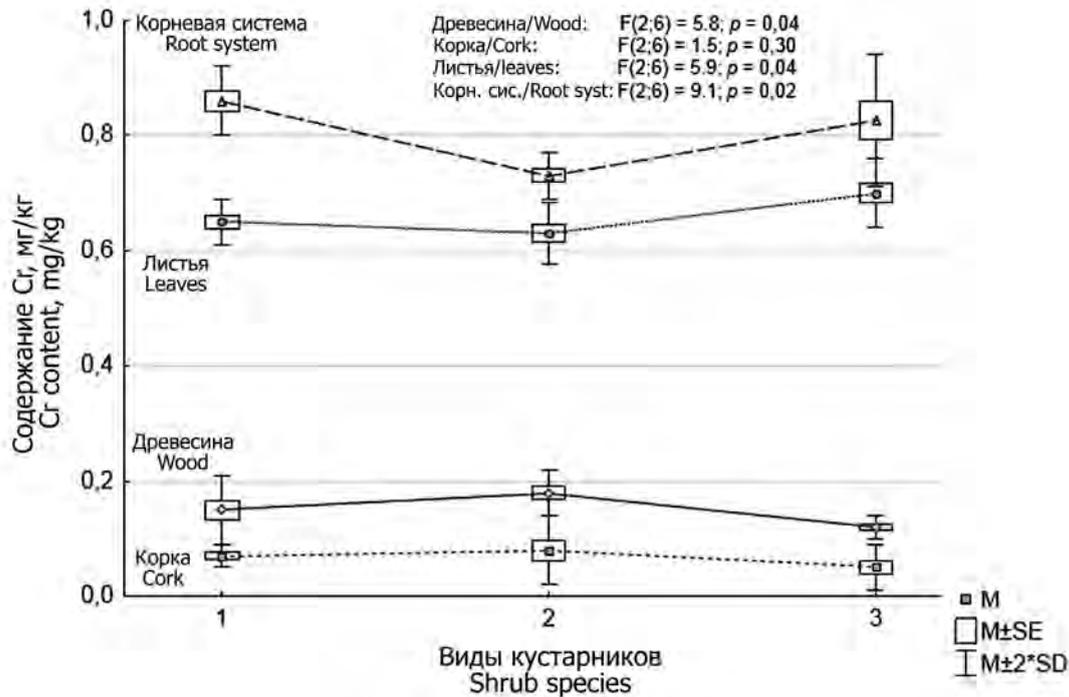


Рис. 9. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания хрома в вегетативных органах и тканях кустарников: 1 – *Corylus avellana*; 2 – *Euonymus verrucosus*; 3 – *Lonicera xylosteum* и результаты дисперсионного анализа

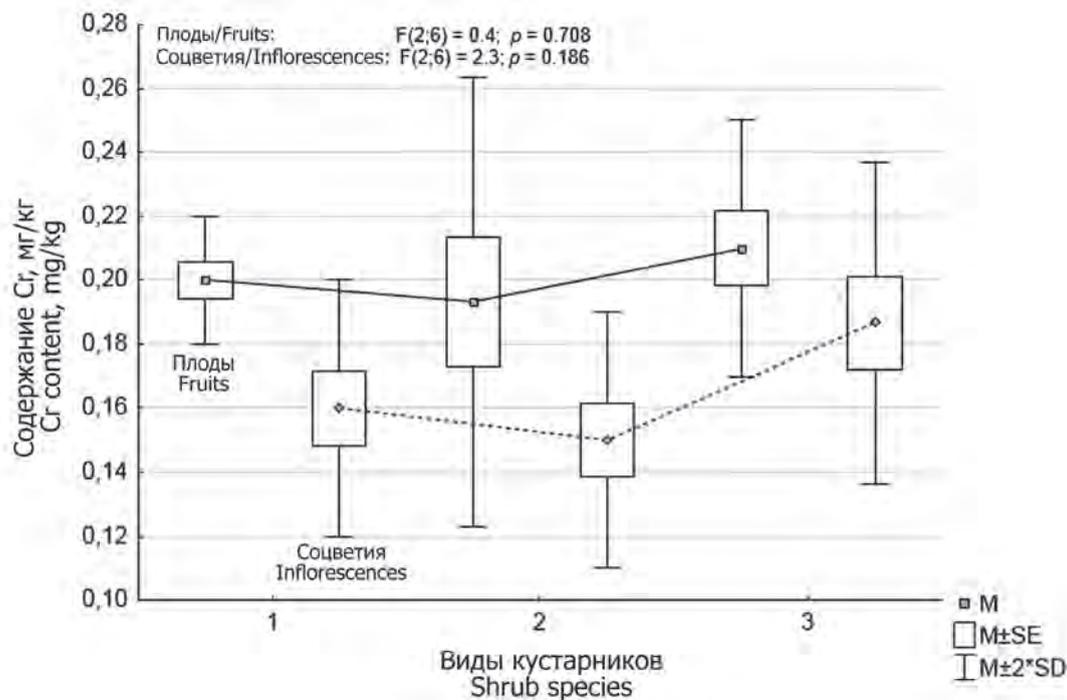


Рис. 10. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания хрома в репродуктивных органах кустарников: 1 – *Corylus avellana*; 2 – *Euonymus verrucosus*; 3 – *Lonicera xylostem* и результаты дисперсионного анализа

(42 мг/кг) и *E. verrucosus* (0,40 мг/кг) она была несколько ниже.

Содержание хрома в репродуктивных органах кустарников, в отличие от деревьев, было несколько выше, чем в вегетативных, и превышало таковое у деревьев в 1,3 раза. Содержание рассматриваемого элемента в плодах растений данной жизненной формы было несколько выше, чем в цветках (рис. 10).

Заключение

Важной региональной особенностью лесных экосистем района исследований является низкое содержание Cr в формирующихся под ними почвах, которое составляет 8,16 мг/кг. Эта величина в 8,6 раза меньше кларка рассматриваемого элемента в почвах мира. Первая причина этого – наследование микроэле-

ментного состава почвами от геологических и почвообразующих пород, которые в условиях Приволжской возвышенности бедны хромом. Вторая причина – отсутствие промышленных объектов, выбросы которых могут вызывать антропогенное загрязнение окружающей среды хромом. Невысокое среднее содержание Cr было зафиксировано и в биологических объектах. Так, в плодовых телах агарикомицетов оно составило (мг на кг сухого вещества) 0,82 мг/кг, в слоевищах лишайников 0,34, в талломах мхов 0,52, в вегетативных органах сосудистых растений 0,50. Сравнение полученных данных с опубликованными результатами измерений других исследователей показало, что содержание хрома в биологических объектах района исследований находится на уровне минимальных и средних показателей, определенных для других районов планеты.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Боброва АВ, Васильев АА. Тяжелые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск АгроЭкоИнфо Электронный научно-производственный журнал. 2021;(4):1-2.
2. Волгин ДА. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области. Вестник Московского государственного областного университета. 2011;(1):26-33.

3. Ермаков ВВ, Тютиков СФ. Геохимическая экология животных. М.: Наука; 2008.
 4. Иванов АИ. Использование организмов различных таксономических групп для мониторинга окружающей среды. Теоретическая и прикладная экология. 2007;(2):72-8.
 5. Иванов АИ, Горохова АГ, Андреева МИ, Дурягина КА. Биологическая аккумуляция химических элементов грибами агарикомицетами (*Agaricomycetes*) в условиях Приволжской возвышенности. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):39-44.
 6. Иванов АИ, Чернышов НВ, Кузин ЕН. Природные условия Пензенской области. Современное состояние. Т. 1. Геологическая среда, рельеф, климат, поверхностные воды, почвы, растительный покров. Пенза: РИО-ПГСХА; 2017.
 7. Кабата-Пендиас А, Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир; 1989.
 8. Коваленко АЕ. Экологический обзор грибов из порядков Polyporales s. str., Boletales, Agaricales s. str., Russulales в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа. Микология и фитопатология. 1980;14(4):300-14.
 9. Ковда ВА. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука; 1985.
 10. Королева ЮВ, Охрименко МА. Особенности накопления тяжелых металлов лесными грибами Калининградской области. Вестник балтийского университета им. И. Канта. 2015;(1):106-17.
 11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. ЦИНАО; 1992.
 12. Скугорева СГ, Ашихмина ТЯ, Фокина АИ, Лялина ЕИ. Токсичность тяжелых металлов для растений ячменя, почвенной и ризосферной микрофлоры. Теоретическая и прикладная экология. 2016;(2):32-45.
 13. Толкач ГВ, Позняк СС. Содержание химических элементов в почвах на территории фермерских (крестьянских) хозяйств Брестского района. Экологический вестник. 2015;3(33):79-88.
 14. Трифонова ТА, Салмин АС. Использование лишайника *Hypogymnia physodes* в качестве аккумулятивного биоиндикатора техногенного загрязнения атмосферы. Юг России: экология, развитие. 2019;(14):152-63.
 15. Трифонова ТА, Курочкин ИН, Курбатов ЮН. Тяжелые металлы в почвах различных зон урбанизированных территорий: оценка содержания и экологического риска. Теоретическая и прикладная экология. 2023;(2):38-42.
 16. Черных НА, Милащенко НЗ, Ладонин ВФ. Эко-токсикологические аспекты загрязнения тяжелыми металлами. М.: Агропромиздат; 1999.
 17. Шевченко ВП, Стародымова ДП, Афанасьева АА, Бычкова АВ, Конева ВВ, Саввичев АС. Особенности накопления тяжелых металлов кустистыми эпифитными лишайниками в республиках Алтай и Хакассия. Биологические науки, Фундаментальные исследования. 2014;(12):2373-7.
- Общий список литературы/References**
1. Bobrova AV, Vasilyev AA. [Heavy metals in soils and epiphyte mosses of the Leninsky district of Izhevsk]. *AgroEkoInfo Elektronnyi Nauchno-Proizvodstvennyi Zhurnal*. 2021;(4)1. (In Russ.)
 2. Volgin DA. [Background level and content of heavy metals in the soil cover of Moscow region]. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Oblastnogo Universiteta*. 2011;(1):26-33. (In Russ.)
 3. Yermakov VV, Tiutikov SF. *Geokhimicheskaya Ekologiya Zhivotnykh*. [Geochemical Ecology of Animals]. Moscow: Nauka; 2008. (In Russ.)
 4. Ivanov AI. [The use of organisms of various taxonomic groups for environmental monitoring]. *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*. 2007;(2): 72-8.
 5. Ivanov AI, Gorokhova AG, Andreyeva MI, Duriagina KA. [Biological accumulation of chemical elements by agaricomycetes (*Agaricomycetes*) fungi in conditions of the Volga Upland]. *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*. 2020;(2):39-44 (In Russ.) doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-064-069.
 6. Ivanov AI, Chernyshov NV, Kuzin EN. *Prirodnye Usloviya Penzenskoy Oblasti*. [Natural Conditions of Penza Oblast. Modern State. Vol. 1. Geological Environment, Relief, Climate, Surface Waters, Soils, Vegetation Cover]. Penza: RIO-PGSKHA; 2017. (In Russ.) doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-006-000.
 7. Cabata-Pendias A, Pendias H. [Micronutrients in Soils and Plants]. Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
 8. Kovalenko AYe. [Ecological review of fungi from the orders Polyporales s. str., Boletales, Agaricales s. str., Russulales in the mountain forests of the central part of the Northwestern Caucasus]. *Mikologiya i Fitopatologiya*. 1980;14(4):300-14. (In Russ.)
 9. Kovda VA. *Biogeokhimiya Pochevennogo Pokrova*. [Biogeochemistry of Soil Cover]. Moscow: Nauka; 1985. (In Russ.)
 10. Korolenko YuV, Okhrimenko MA. [Peculiarities of heavy metal accumulation by forest mushrooms

- of the Kaliningrad Region]. Vestnik Baltiyskogo Universiteta im. I. Kanta. 2015;1:106-7. (In Russ.)
11. Metodicheskiye ukazaniya po Opredeleniyu Tiyazhelykh Metallov v Pochvakh Selkhozugodiy i Produktsii Rastenievodstva. [Methodological Guidelines for Heavy Metals Determination in Agricultural Soils and Products]. TsINAO; 1992. (In Russ.)
 12. Skugoreva SG, Ashikhmina TY, Fokina AI, Lialina EI. [Heavy metal toxicity for barley plants, soil and rhizosphere microflora]. Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya. 2016;(2):32-45. (In Russ.) doi: 10.25750/1995-4301-2016-2-032-045.
 13. Tolkach GV, Poznyak SS. [Content of chemical elements in soils on the territory of farms of Brest district]. Ekologicheskiy Vestnik. 2015;3(33):79-88. (In Russ.)
 14. Trifonova TA, Salmin AS. [The use of *Hypogymnia physodes* lichen as an accumulative bioindicator of anthropogenic atmospheric pollution]. Yug Rossii Ekologiya Razvitiye. 2019;(14)152-163. (In Russ.)
 15. Trifonova TA, Kurochkin IN, Kurbatov YuN. [Heavy metals in soils of various zones of urbanized territories: the price of maintenance and environmental risk]. Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya. 2023;(2):38-42. (In Russ.)
 16. Chernykh NA, Milashchenko NZ, Ladonin VF. Ekotoksikologicheskiye Aspecty Zagriazneniya Tiazhelymi Metallami. [Ecotoxicological Aspects of Pollution by Heavy Metals]. Moscow: Agropromizdat; 1999. (In Russ.)
 17. Shevchenko VP, Starodymova DP, Afanasyeva AA, Bychkova AV, Koneva VV, Savvichev AS. [Features of heavy metal accumulation by bush epiphytic lichens in Altai and Khakassia republics]. Biologicheskiye Nauki Fundamentalnye Issledovaniya. 2014;(12):2373-7. (In Russ.)
 18. Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontol Electronica. 2001;4(1):4-9.
 19. Isidak O, Turkekul I, Elmastas M, Tuzen M. Analysis of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms from the middle black sea region. Turkey. Food Chem. 2004;547-552.
 20. Smith S, Read DJ. Mycorrhizal Symbiosis. London, Academic Press; 1997.



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША ВОЛЧЕЯГОДНИКА *DAPHNE LAUREOLA* НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Н.А. Багрикова*, Ю.В. Плугатарь, В.В. Корженевский,
З.Д. Бондаренко

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Россия

* Эл. почта: nbagri@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.08.2024; принята к печати 06.11.2024

Представлены результаты исследований по адаптации инвазионного вечнозеленого вида *Daphne laureola* в лесных сообществах с доминированием дуба *Quercus pubescens* в нижнем и среднем поясе на особо охраняемых природных территориях Южного берега Крыма. Геоботаническое обследование проведено в 2019–2021 годах в соответствии с эколого-флористическим подходом Ж. Браун-Бланке. Ординационный анализ выполнен с использованием программы PAST 3.26. Рассмотрены 12 факторов: освещенность (Lc), терморегим (Tm), аридность-гумидность (Om), криорежим (Cr), континентальность климата (Kn), увлажнение почвы (Hd), переменность увлажнения (fH), кислотность субстрата (Rc), солевой режим (анионный состав) (Tr), содержание карбонатов (Ca), содержание минерального азота (Nt), гранулометрический состав субстрата (Ae). Параметры экологических ниш вида и сообществ определены методом фитоиндикации. Установлено, что по большинству эдафо-климатических факторов условия изученных местообитаний соответствуют параметрам фундаментальной ниши *D. laureola*, что определяет высокую степень адаптации вида к природным условиям Южного берега Крыма. За пределами оптимальных значений потенциальные требования изученного вида находятся на градиентах факторов Lc, Om, Ae.

Ключевые слова: чужеродные растения, фундаментальная и реализованная ниши, растительные сообщества, экологические шкалы, Крымский полуостров.

ECOLOGICAL NICHE OF *DAPHNE LAUREOLA* IN PROTECTED AREAS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

N.A. Bagrikova*, Yu.V. Plugatar, V.V. Korzhenevsky, Z.D. Bondarenko
Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

* E-mail: nbagri@mail.ru

Presented are the results of studies on the adaptation of the invasive evergreen species *Daphne laureola* in forest communities dominated by *Quercus pubescens* in the lower and middle zones in Protected Areas of the Southern Coast of Crimea. A geobotanical investigation was carried out in 2019–2021 using the Braun-Blanquet approach. PAST 3.26 software was employed for the ordination analysis. Twelve factors were considered: soil humidity (Hd), humidity fluctuation (fH), substrate acidity (Rc), anionic composition (Tr), carbonate content (Ca), nitrogen content (Nt), granulometric composition of substrate (Ae), illuminance of community (Lc), thermal regimen (Tm), aridity/humidity (Om), cryo-regimen (Cr), and climate continentality (Kn). The parameters of the ecological niches of the species and communities were determined using the phytoindication method. It was found that, according to the majority of edaphoclimatic factors, the conditions of the habitats studied correspond to the parameters of the fundamental niche of *Daphne laureola*. This determines the high degree of adaptation of the species to the natural conditions of the Southern Coast of Crimea. Outside the optimal values, the potential requirements of the species are confined to the gradients of the factors Lc, Om, and Ae.

Keywords: alien plant species, fundamental and realized niches, ecological scales, plant communities, Crimean Peninsula.

Введение

В последние десятилетия проблема биологических инвазий приобрела глобальный характер во многих странах мира, так как вселение и распространение чужеродных видов на новых для них территориях способствуют сокращению биоразнообразия и приводят

к высоким экономическим потерям [32, 33, 44]. Происходящие при этом процессы связаны с изменением эдафо-климатических условий во многих регионах. Доказано влияние изменений климата на состав, структуру сообществ, биологические особенности не только чужеродных, но и аборигенных видов флоры.

Значительное антропогенное воздействие на природные экосистемы, увеличение транспортных потоков привело к активизации внедрения чужеродных видов на новые территории в результате их натурализации в условиях вторичного ареала и преодоления ими географического, репродуктивного, фитоценотического и экологического барьеров [16, 52, 55]. В современной экологии, включая изучение чужеродных и инвазивных видов растений, все чаще используются методы, определяющие объемы фундаментальной и реализованной экологических ниш [11, 40, 45, 67]. Понятие экологической ниши позволяет в определенной степени установить, каким образом различные виды могут нормально функционировать в конкретном экотопе [14]. Анализ соответствия объема потенциальной ниши редкого аборигенного или инвазивного вида и реализованной ниши сообществ, в которые они произрастают, позволяет выявить закономерности их существования и распространения на локальном, региональном и даже на глобальном уровнях, установить механизмы адаптаций к различным условиям окружающей среды при разных уровнях антропогенного воздействия, спрогнозировать их жизненную стратегию в меняющихся условиях [1, 2, 26, 50, 53, 59, 60, 64,

67]. Сравнение параметров реализованных ниш сообществ и потенциальных требований инвазивных видов в разных ценопопуляциях, при использовании еще и методов фитоиндикации, может дать полезную информацию для лучшего понимания процессов вселения вида на территорию вторичного ареала [11, 12, 19, 21, 54]. Знание характера и динамики изменения ниш играет важную роль при разработке стратегий сохранения биоразнообразия растительных сообществ [15, 16, 54]. По результатам исследований экологических ниш инвазивных видов установлено, что в процессе вселения и натурализации вида в новой среде эти виды либо сохраняют, либо расширяют, либо сужают пространство своей ниши в результате изменений реализованной ниши под влиянием природных и антропогенных факторов [47]. При этом давность вселения и динамика размножения и расселения вида также могут влиять на формирование реализованных ниш [48]. Общее утверждение, что консервативность ниш в целом выполняется [43], требует проверку в каждом отдельном случае для каждого инвазивного вида в отдельности [16].

Природные условия Южного берега Крыма (ЮБК) и многовековая история хозяйственного освоения ре-



А



Б

Рис. 1. *Daphne laureola* в естественных пушистодубово-грабинниковых сообществах на особо охраняемой природной территории ГПЗ «Ялтинский горно-лесной» (А); молодое генеративное растение (Б) (фото З.Д. Бондаренко)

гиона способствовали натурализации значительного числа видов растений, из которых не менее 57 отнесены к инвазионным. Среди этих видов преобладают древесные и кустарниковые растения, которые были интродуцированы на южном побережье [24]. Огромное влияние на введение в культуру значительного числа полезных и декоративных видов растений оказали работы по интродукции и селекции, проводимые с начала XIX века учеными Никитского ботанического сада [42].

Волчегодник *Daphne laureola* L. (рис. 1) на территории Крымского полуострова используется как декоративное растение с 1824 года. С конца XIX века это растение значится как одичавший вид в парках, садах, по балкам и как подлесок в тенистых местах на ЮБК. В настоящее время *D. laureola* часто и с обилием до 2–3 баллов встречается в основном от Никиты до Фороса в лесопарковых насаждениях, а также по балкам, оврагам, в полуприродных и естественных фитоценозах всех лесных поясов Горного Крыма, в пушистодубово-грабинниково-можжевельниковых, дубовых, дубово-сосновых, дубово-буковых лесах, в составе классов *Quercetea pubescentis*, *Erico-Pinetea* [3, 4, 6, 7].

Daphne laureola (волчник или волчегодник лавровый) – это многолетний вечнозеленый кустарник, высотой до 1,5 м, листья очередные, на верхушке стебля в густых мутовках листьев в пазушных кистях расположены зеленовато-желтые цветки [25] (рис. 1).

В природном (нативном) ареале, охватывающем Европу, Юго-Западную Азию, Северную Африку и Средиземноморский регион, вид встречается в хвой-

ных (сосновых), смешанных (дубово-кедровых, букво-пихтовых), лиственных (сухих буковых, дубовых, березовых, осиновых и др.) лесах в составе разных классов растительности (*Carpino-Fagetea sylvaticae*, *Quercetea pubescentis*, *Erico-Pinetea* и др.) [2–5, 34, 38, 62, 63]. Имеются данные о том, что многие представители рода *Daphne* L., в том числе *D. laureola*, относятся к ядовитым растениям, так как во всех частях растения содержатся специфические для рода дафнетоксин, мецереин и другие вещества, которые для людей и других млекопитающих считаются токсичными, но птицы, поедая плоды, разносят их [28, 66], при этом указывается, что экстракты из разных частей растения применяются в традиционной медицине. *Daphne laureola* может стать важным источником фитохимических веществ, которые действуют как природные антиоксиданты и ингибиторы ацетилхолинэстеразы и могут быть полезными при лечении болезни Альцгеймера, а также как средство при лечении ревматических заболеваний [41, 61]. Ряд работ посвящен изучению генетического полиморфизма, изменчивости морфометрических параметров, биологии *D. laureola* в условиях первичного и вторичного ареалов в зависимости от условий обитания [29, 30, 39, 57] и возрастной структуры ценопопуляций вида [6, 20]. Но наиболее часто *D. laureola* на разных континентах используется как декоративное растение. Поэтому многие исследования посвящены изучению распространения этого растения. Установлено, что вид натурализовался в Австралии, имеет инвазионный статус в Северной Америке, Новой Зеландии, Дании,

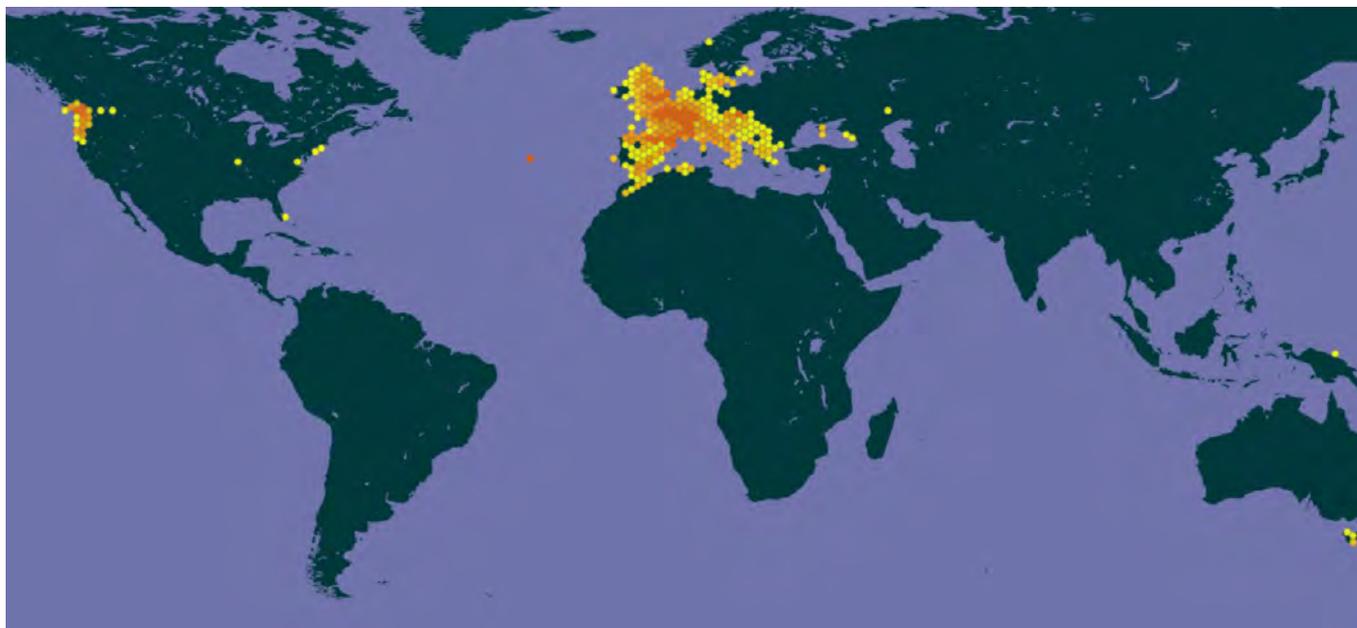


Рис. 2. Распространение *Daphne laureola* (<https://www.gbif.org/species/5420853>)

Ирландии, Крыму, но в большинстве регионов отмечается вблизи мест введения в культуру [25, 27, 31, 35, 37, 51, 56–58, 65] (рис. 2). В Северной Америке встречается не только вблизи мест интродукции, в том числе на свалках, но и в естественных и полуприродных биотопах, включая редколесья, мезофильные дубовые и хвойные леса [23, 40]. Вид отмечается также на особо охраняемых природных территориях на западном побережье США и Канады [22, 42, 57, 58].

Ранее нами были рассмотрены некоторые экологические особенности *D. laureola* и распределения сообществ с его участием на градиентах факторов среды с использованием методов ординации и экологических шкал [2]. Целью данной работы является определение параметров фундаментальной ниши вида и реализованной ниши разных фитоценозов в пушистодубо-можжевеловых лесах южного макросклона Крымских гор методами фитоиндикации.

Объект, район и методы исследований

Для определения особенностей адаптации *D. laureola* исследования проводились в пушистодубо-грабинниковых сообществах, распространенных в нижнем и среднем поясах южного макросклона Крымских гор на мощных рыхлых и свежих коричневатых почвах и отнесенных к классу *Quercetea pubescentis*, на территории трех ООПТ Южного берега Крыма, имеющих в настоящее время разные природоохранные статусы: Государственный природный заповедник «Ялтинский горно-лесной» (ЯГЛ), Природный парк «Мыс Мартьян» (ММ) и Дендрологический парк и Ботанический сад «Никитский ботанический сад» (НБС).

ГПЗ «Ялтинский горнолесной» (Ялтинский ГЛ, ЯГЛ) является одним из наиболее крупных (14,5 тыс. га) на Южном берегу Крыма (ЮБК), расположен вдоль Черного моря от Фороса до Гурзуфа на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор, находится в пределах высот 380–1200 м над у. м. от Ай-Петринской, Ялтинской и Никитской яйл (плато) до уреза моря в отдельных местах (координаты 44°23'–44°34' с.ш., 33°57'–34°14' в.д.). Около 75% площади занято сосновыми, широколиственными лесами субсредиземноморского и центрально-европейского типов. На остальной территории представлена горностепная, луговая, ксерофитная растительность томилляров и саванноидов. По современным оценкам, из более 1400 видов высших растений не менее 100 являются чужеродными [5].

Природный парк «Мыс Мартьян» (ММ) находится в восточной части городского округа Ялта (44°30'–44°31' с.ш., 34°15'–34°16' в.д.) на высоте от 0 до 240 м над у. м. Из 240 га 120 приходится на акваторию Черного моря; на 120 га территории преобладает лесная

(100 га) и кустарниковая (15 га) растительность. На небольшой по площади заповедной территории сохраняются уникальные субсредиземноморские комплексы растений и животных [17]. К высшим растениям относятся 553 вида, из них не менее 67 являются чужеродными.

Дендропарк и Ботанический сад «Никитский ботанический сад» (44°30'–44°31' с.ш., 34°13'–34°15' в.д.) занимают около 882 га, находящихся в границах городских округов Ялты и Алушты, Симферопольского и Джанкойского районов. В наиболее развитой рекреационной зоне ЮБК в нижнем приморском поясе расположен Арборетум, в котором на площади 48 га собрано свыше 2 тысяч видов деревьев и кустарников из разных регионов Земного шара, в том числе представлены коллекции роз и других декоративных цветочных культур [18]. На территории четырех парков Арборетума, на коллекционных участках отмечена натурализация не менее 120 видов древесных и кустарниковых растений-интродуцентов.

При описании эколого-ценотических характеристик определен ряд показателей: высота над уровнем моря (м), экспозиция и крутизна склонов (°), тип сообщества, сомкнутость древесного яруса, общее проективное покрытие полукустарников и травянистых растений (ОПП, %). В разных типах растительных сообществ в 2019–2021 годах на изученной территории заложены площадки по 100 м², на которых с целью выявления полного видового состава сообществ по общепринятым методикам [8, 13] выполнены геоботанические описания.

Расчеты параметров фундаментальной экологической ниши вида и реализованного фитоценоза произведены по оригинальной программе «Power». Унифицированная информация о размещении видов растений на градиентах факторов-условий и факторов-ресурсов (каждый из градиентов со ста градациями) извлечена из базы данных «Экодата», созданной в лаборатории флоры и растительности ФГБУН «Никитский ботанический сад РАН». Рассмотрены 12 факторов, в том числе геоклиматические (освещенность ценозов (Lc), терморезим (Tm), омброрезим, аридность-гумидность (Om), криорезим (Cr), континентальность климата (Kn) и эдафические (увлажнение почвы (Hd), переменность увлажнения (fH), кислотность субстрата (Cr), солевой режим (анионный состав) (Tr), содержание карбонатов (Ca), содержание минерального азота (Nt), гранулометрический состав (аэрация) субстрата (Ae)) [9–11].

Ординационный анализ выполнен с помощью пакета программы Past 3.26 [36]. Названия синтаксонов приводятся по классификационной схеме растительности Европы (EuroVegChecklist) [46], названия видов растений – согласно международной базе данных Plants of the Words On-line [49].

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований описано четыре ценопопуляции (ЦП), две на территории ООПТ «Ялтинский горнолесной», по одной – на «Мысе Мартьян» и в «Никитском ботаническом саду». Во всех изученных местообитаниях ценопопуляции *D. laureola* по онтогенетическому спектру относятся к неполночленным, нормальным молодым, зрелым или зреющим, неустойчивым, с доминированием молодых генеративных растений, но отличаются по общему числу особей, количеству разновозрастных растений, эффективной плотности на 100 м² и экологической плотности на единицу площади [6].

ЦП 1 (44.512267 N, 34.229766 E) находится в Чертовой балке на территории Нижнего парка Арборетума Никитского ботанического сада, на склонах юго-западной и восточной экспозиций, крутизной 30–35°, на высоте 120–130 м над у. м., занимает борта балки. Растительность представлена достаточно сомкнутыми (0,8–0,9) пушистодубово-грабинниково-кленовыми сообществами, в которых доминируют *Quercus pubescens* Willd., *Carpinus orientalis* Mill., значительный процент участия приходится на *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Cornus mas* L., *Fraxinus excelsior* L. и разные виды интродуцентов, например, *Laurus nobilis* L., *Berberis aquifolium* Pursh, *Quercus ilex* L., *Laburnum anagyroides* Medikus, представителей рода *Lonicera*. При общем проективном покрытии (ОПП) от 20 до 80% в травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Hedera helix* L. и *Ruscus aculeatus* L. Растения *D. laureola* отмечаются с обилием 2–3 балла при проективном покрытии от 10 до 30%. Количество растений варьирует от 2 до 18 на 100 м², в большинстве случаев от 3 до 10, при экологической (6,3 особей/100 м²) и эффективной (до 4 растений g₂ на единицу площади) плотности. Она относится к зрелой, с пиком в возрастном спектре на молодых (g₁ – 48%) генеративных особях.

ЦП 2 (44.514508 N, 34/246383 E) находится в верхней части ООПТ «Мыс Мартьян», на склонах юго-западной и восточной экспозиций, крутизной 10–20°, на высоте более 200 м над у. м. Растительность представлена разреженными (0,5–0,7) пушистодубово-можжевельново-сосновыми сообществами, в которых значительный процент участия приходится на *Carpinus orientalis*, отмечаются два вида можжевельников (*Juniperus excelsa* M. Bieb. и *J. deltoides* R.P. Adams.). Из натурализовавшихся интродуцентов с высоким постоянством встречается *Fraxinus ornus* L. При ОПП от 50 до 80% в травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Hedera helix* и *Ruscus aculeatus*. Среди всех изученных ценопопуляций отличается наименьшим числом особей *D. laureola*, которые распределены неравномерно, с обилием 1 балл при проективном покрытии до 5%. Соответственно количество растений варьирует от 2

до 8/100 м², а значения плотности минимальные: экологической (4,5 особей/100 м²) и эффективной (1–2 средневозрастных генеративных растений/100 м²). Тип ЦП стареющая, где 30% приходится на средневозрастные генеративные особи.

ЦП 3 (44.445465 N, 34.127842 E) находится на территории Алушкинского лесничества ГПЗ «Ялтинский горно-лесной» по обеим сторонам «Солнечной тропы» («Царская тропа»), в центральной ее части (пгт Гаспра), на склонах от юго-восточной до северо-восточной экспозиций, крутизной от 5 до 45°, на высоте 155–170 м над у. м. Растительность представлена относительно сомкнутыми (0,7–0,8) пушистодубово-грабинниково-кизилловыми сообществами. В первом ярусе доминирует *Quercus pubescens*, с высоким постоянством встречаются *Fraxinus excelsior*, во втором ярусе и в подлеске преобладают *Carpinus orientalis*, *Cornus mas*, с высоким постоянством отмечаются *Torminalis glaberrima*, *Acer campestre*, *Juniperus deltoides*. В кустарничковом ярусе с высоким обилием и постоянством отмечается *Laburnum anagyroides*, изредка *Rosa canina* L., разные виды рода *Euonymus*. ОПП травяного и кустарничкового яруса от 20 до 70%, в нем значительный процент участия приходится на *Ruscus aculeatus*, *Hedera helix*, *Aegonychon purpureocaeruleum* (L.) Holub, представителей рода *Carex*. Это самая многочисленная по общему числу особей ценопопуляция, *D. laureola* отмечается с обилием 2–3 балла при проективном покрытии от 10 до 30%. Количество растений варьирует от 2 до 42 на 100 м², в большинстве случаев от 5 до 30. Характерны средние значения экологической (23,8 особей/100 м²) и эффективной (до 7–8 растений g₂ на единицу площади) плотности. Она относится к зрелой, с пиком в возрастном спектре на молодых (g₁ – 43%) генеративных особях.

ЦП 4 (44.421168 N, 33.859761) находится в западной части ЯГЛ, на территории Оползневского лесничества, между горами Мердвен-Кая и Исар-Кая, вдоль тропы «Чертова лестница» (Шайтан Мердвен), где занимает склоны юго-восточной экспозиции или борта и тальвеги балок, крутизной 15–30°, на высоте 420–480 м над у. м. Растительность представлена в основном достаточно сомкнутыми (0,6–0,8) дубово-грабинниковыми сообществами, в которых в первом ярусе доминирует *Quercus pubescens*, во втором – *Carpinus orientalis*, *Cornus mas*, в подлеске – *Juniperus deltoides*. Реже встречаются *Torminalis glaberrima* (Gand.) Sennikov & Kurtto, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*. В кустарничковом ярусе с высоким постоянством встречается *Berberis aquifolium*, реже *Laburnum anagyroides*. Общее проективное покрытие травяного и кустарничкового ярусов, в которых доминируют *Ruscus aculeatus*, *Hedera helix*, *Euphorbia amygdaloides* L., представители родов *Carex*, *Viola*, – от 25 до 60%. Так же как в ЦП 3 *D. laureola* отмечается с обилием 2–3 балла при проективном покрытии от 10 до 30%, но расте-

ния распределены неравномерно, их количество варьирует от 4 до 31, в большинстве случаев отмечается от 4 до 22 растений/100 м², при эффективной плотности – менее 4 средневозрастных (g_2) генеративных растений на единицу площади и средней экологической плотности – 14,2 особей, на молодые генеративные растения приходится 44%, и ЦП относится к зрелой.

По результатам ординационного анализа описаний фитоценозов с участием *Daphne laureola* выявлены экологические связи между ними (рис. 3). Так для сообществ ЦП 4, описанных в Ялтинском ГЛ заповеднике вдоль тропы «Чертова лестница» на склонах в среднем лесном поясе, ведущими факторами являются содержание азота в почве (Nt) и переменность увлажнения (fH) (занимают крайнее правое положение вдоль осей). Ведущим фактором дифференциации для достаточно разреженных (0,5–0,7) пушистодубово-можжевелово-сосновых сообществ ЦП 2 на «Мысе Мартьян» является освещенность ценоза («Lc») (крайнее левое положение). Режим увлажнения почвы «Hd» является основным фактором дифференциации для сообществ, описанных по ЦП 1 в Чертовой балке в Никитском ботаническом саду и по ЦП 3 на территории Ялтинско-

го ГЛ вдоль «Солнечной тропы», так в них *D. laureola* произрастает по днищам и бортам балок.

Внедрение вида в различные по степени сохранности или нарушенности фитоценозы во вторичном ареале происходит при соответствии факторов-условий и факторов-ресурсов новых мест произрастания требованиям чужеродного вида. Результаты, полученные при анализе параметров фундаментальной ниши *D. laureola* и реализованных ниш изученных фитоценозов, представленные на рисунке 4 и в таблице 1, также показывают, какие из факторов являются лимитирующими для распространения вида в новых для него условиях. В таблице приведены реальные значения факторов-условий и факторов-ресурсов для изученного вида и сообществ, в которых растения *D. laureola* в разных возрастных состояниях отмечены в травяно-кустарниковом ярусе. Данные демонстрируют, насколько отдельные градиенты климатопы и эдафотопы фундаментальной ниши вида укладываются в реализованную нишу описанных сообществ и тем самым показывают, что по большинству факторов *D. laureola* успешно внедрилась в естественные фитоценозы, но не является видом-трансформером.

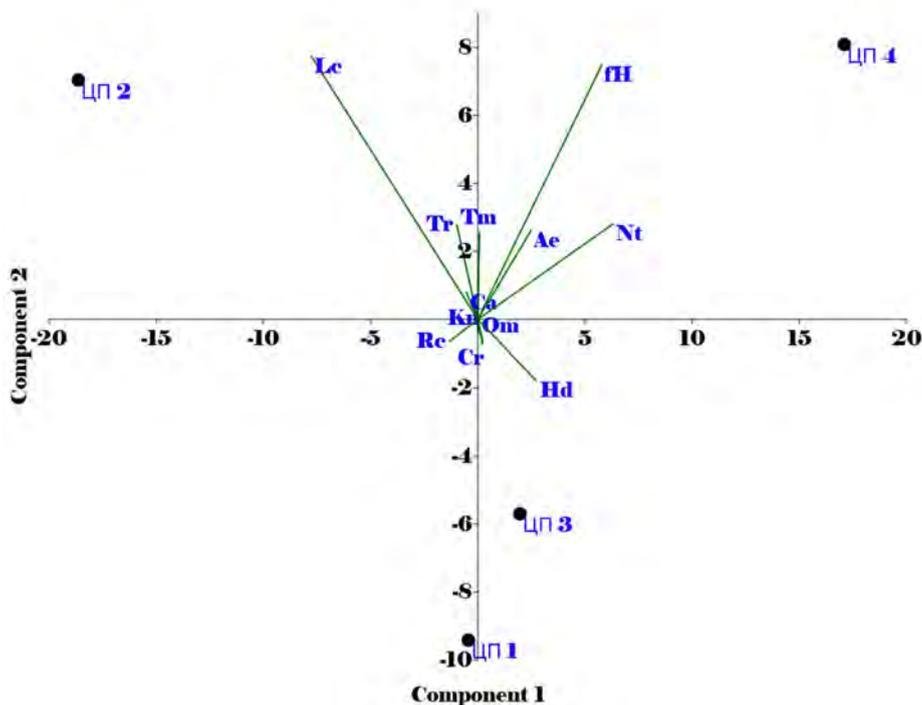


Рис. 3. Дифференциация сообществ с участием *Daphne laureola* на градиентах факторов среды (по экологическим шкалам В.В. Корженевского).

Наименование осей климатопы: Lc – освещенность-затенение, Tm – температура воздуха, Om – омброрегим (аридность-гумидность), Cr – криорегим, Kp – континентальность климата, Hd – увлажнение, fH – переменность увлажнения. Наименование осей эдафотопы: Rc – кислотность субстрата, Tr – анионный состав (солевой режим), Ca – содержание карбонатов, Nt – содержание азота, Ae – механический состав (аэрация) субстрата. Обозначения: ЦП 1 – НБС, Чертова балка; ЦП 2 – Мыс Мартьян; ЦП 3 – ЯГЛ «Солнечная тропа»; ЦП 4 – ЯГЛ «Шайтан-Мердвен»

Табл. 1

Реальные значения факторов-условий и факторов-ресурсов на градиентах для фундаментальной ниши *Daphne laureola* и реализованных ниш фитоценозов

| Факторы-условия и факторы-ресурсы | Фундаментальная ниша <i>D. laureola</i> | | Реализованная ниша фитоценоза | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | | | ЦП 1 | | | ЦП 2 | | | ЦП 3 | | | ЦП 4 | | | |
| | min | max | min | opt | max | min | opt | max | min | opt | max | min | opt | max | |
| Освещенность, % | 4,5 | 18,2 | 6,7 | 17,7 | 41,4 | 9,8 | 37,7 | 47,3 | 6,6 | 18,6 | 41,4 | 7,0 | 17,7 | 41,8 | |
| Средняя июльская температура, °C | 19,0 | 21,3 | 18,2 | 20,7 | 23,5 | 18,6 | 21,2 | 23,2 | 18,6 | 20,7 | 23,5 | 17,9 | 21,3 | 23,0 | |
| Сумма эффективных температур >10 °C | 2691 | 3164 | 2491 | 3036 | 3736 | 2502 | 3145 | 3691 | 2473 | 3036 | 3736 | 2418 | 3164 | 3645 | |
| Аридность-гумидность | -1222 | -600 | -733 | -67 | 489 | -734 | -89 | 375 | -622 | -1,4 | 590 | -632 | -67 | 533 | |
| Температура самого холодного месяца, °C | -4,6 | 4,6 | -5,7 | 2,0 | 11,1 | -5,1 | 1,4 | 10,0 | -5,4 | 2,3 | 9,6 | -6,9 | 1,7 | 9,7 | |
| Континентальность, % | 120,0 | 138,6 | 98,6 | 131,4 | 165,7 | 103,6 | 130,7 | 164,3 | 90,3 | 131,4 | 167,9 | 97,8 | 130,7 | 168,7 | |
| Индекс сухости | 8,16 | 1,56 | 2,3 | 1,61 | 1,25 | 2,4 | 1,84 | 1,35 | 2,24 | 1,69 | 1,23 | 2,14 | 1,59 | 1,23 | |
| Коэффициент переменности увлажнения | 0,23 | 0,31 | 0,13 | 0,24 | 0,30 | 0,13 | 0,25 | 0,30 | 0,16 | 0,26 | 0,34 | 0,22 | 0,34 | 0,44 | |
| pH субстрата | 6,4 | 7,2 | 5,6 | 7,0 | 8,1 | 5,8 | 7,1 | 8,5 | 5,5 | 7,0 | 8,4 | 5,6 | 6,9 | 8,2 | |
| Содержание анионов в мг/100 г почвы в слое 0-50 см | HCO ₃ ⁻ | 0,42 | 12,56 | 0,07 | 4,88 | 39,1 | 0,07 | 4,88 | 39,1 | 0,16 | 2,31 | 40,5 | 0,09 | 10,0 | 37,0 |
| | Cl ⁻ | 0,007 | 0,08 | 0,005 | 0,05 | 2,5 | 0,005 | 0,05 | 2,5 | 0,006 | 0,045 | 3,1 | 0,006 | 0,07 | 1,67 |
| | SO ₄ ⁻ | 0,06 | 0,68 | 0,048 | 0,48 | 5,2 | 0,048 | 0,48 | 5,2 | 0,054 | 0,41 | 6,1 | 0,05 | 0,62 | 3,9 |
| Содержание карбонатов, % | 3,44 | 7,32 | 1,51 | 4,76 | 7,38 | 2,21 | 5,12 | 9,6 | 1,47 | 4,85 | 7,41 | 1,48 | 4,85 | 7,15 | |
| Содержание азота, % | 0,23 | 0,31 | 0,15 | 0,28 | 0,4 | 0,13 | 0,25 | 0,38 | 0,17 | 0,29 | 0,42 | 0,18 | 0,34 | 0,43 | |
| Общая аэрация, % | 67,9 | 43,6 | 52,8 | 52,9 | 22,1 | 61,4 | 53,6 | 20,0 | 56,1 | 52,1 | 25,4 | 52,1 | 42,9 | 23,2 | |

Примечание: min – минимальное значение на градиенте; max – максимальное значение на градиенте; opt – оптимальное значение.

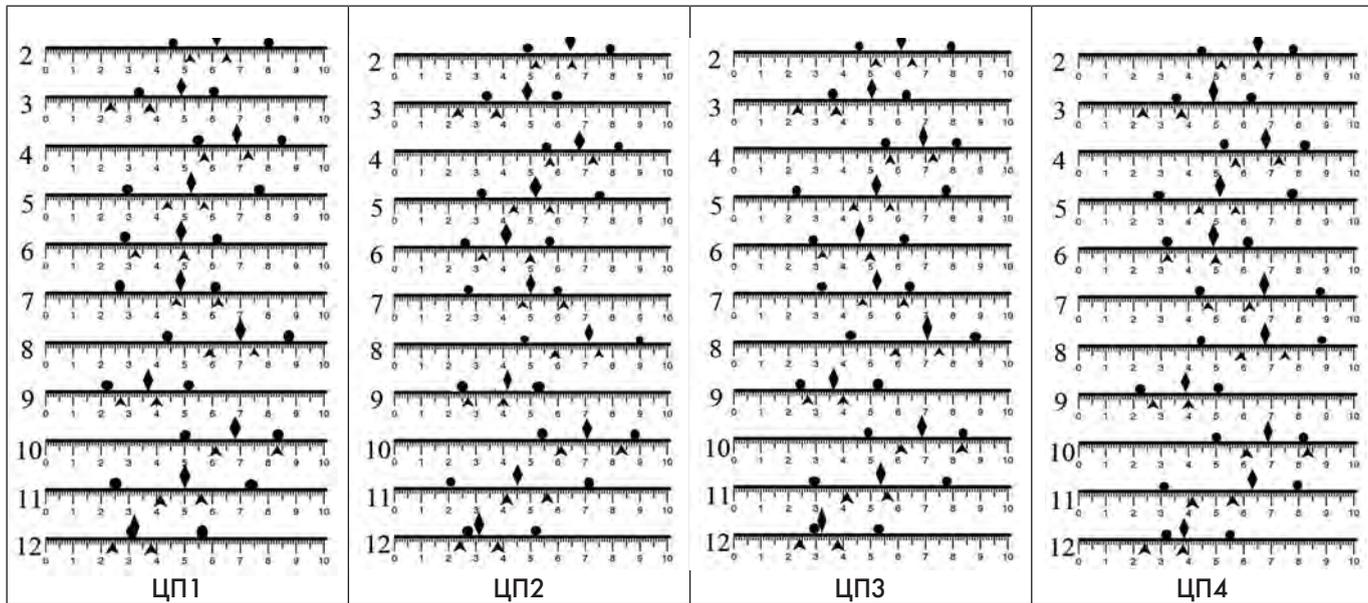


Рис. 4. Соотношение фундаментальной ниши *D. laureola* (обозначен треугольниками вниз) и реализованных ниш фитоценозов (диапазон толерантности (он же «коридор комфортности») в верхней части шкал – овалы, точка оптимума на градиенте – ромб). Нумерация градиентов: 1 – освещение-затенение; 2 – терморегим; 3 – омброрегим; 4 – криорегим; 5 – континентальность; 6 – увлажнение; 7 – переменность увлажнения; 8 – реакция субстрата; 9 – солевой режим; 10 – содержание карбонатов; 11 – содержание азота; 12 – механический состав (аэрация) субстрата

В сообществах, относящихся к классу *Quercetea pubescentis*, ниша *Daphne laureola* находится в зоне комфорта по большинству параметров: терморегим, криорегим, континентальность, реакция субстрата, солевой режим, переменность увлажнения, содержание карбонатов и азота (рис. 3). В зоне пессимума за пределами оптимальных значений потенциальные требования изученного вида находятся на градиентах факторов освещение-затенение, омброрегим, аэрация субстрата (или гранулометрический состав). На градиенте увлажнение почвы описанные сообщества имеют более широкую экологическую нишу, тогда как фундаментальная ниша *D. laureola* расположена ближе к минимальным значениям реализованных ниш фитоценозов. Такое положение вида на градиентах факторов-условий и факторов-ресурсов в разных лесных сообществах на Южном берегу Крыма объясняется тем, что в природном ареале *Daphne laureola* произрастает на суглинистых и глинистых почвах, достаточно морозоустойчива, переносит низкий уровень освещенности от частичной до глубокой тени. Она предпочитает влажные хорошо дренированные суглинисто-глинистые или известняковые богатые обменным кальцием почвы от нейтральных до слабокислых, но может расти на осушенных почвах (обычно вдоль береговой линии в Англии) [5].

Выводы

Проведенные исследования показали, что *D. laureola* адаптировался к природным условиям в нижнем и среднем поясах на южном макросклоне Крымских гор в составе пушистодубово-грабинниковых сообществ, так как соответствие большинства параметров реализованных ниш фитоценозов отвечает потенциальным требованиям вида. Возрастное состояние растений в разных ценопопуляциях отражает его инвазионный потенциал, во всех изученных местообитаниях ценопопуляции *D. laureola* по онтогенетическому спектру относятся к неполноценным, нормальным молодым, зрелым или зреющим, неустойчивым, с доминированием молодых генеративных растений. Для вида определен 2-й инвазионный статус, так как натурализовавшиеся растения отмечаются в изученных полуестественных лесных сообществах с обилием до 2–3 баллов, то есть его проективное покрытие не превышает 60%. Несмотря на способность к семенному возобновлению преобладает вегетативный способ самоподдержания ценопопуляций. Для снижения рисков дальнейшего распространения вида необходим мониторинг состояния растений в ранее изученных локалитетах, выявление новых местонахождений. Не рекомендуется использовать данный вид при озеленении участков, граничащих с особо охраняемыми природными территориями.

Литература/References

1. Абраменков АА, Корженевский ВВ. Реализованная ниша *Daphne taurica* Kotov в Крыму. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2023;2(167):72-83.
2. Багрикова НА, Бондаренко ЗД. Особенности адаптации инвазионных видов *Berberis aquifolium* Pursh. и *Daphne laureola* L. в лесных сообществах Южного берега Крыма. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):157-66. doi: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166.
3. Багрикова НА, Бондаренко ЗД, Резников ОН. Об инвазии *Daphne laureola* (Thymellaceae) на территориях заповедников Южного берега Крыма. Наука Юга России. 2021;17(3):72-9. doi: 10.7868/S25000640210309.
4. Багрикова НА, Плугатарь ЮВ, Бондаренко ЗД, Резников ОН. Наиболее опасные инвазионные виды растений на особо охраняемых природных территориях Горного Крыма. Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2021;12:114-48.
5. Бондаренко ЗД. Адвентизация флор особо охраняемых природных территорий (на примере природного заповедника «Ялтинский горно-лесной») (дисс. ... канд. биол. наук). Ялта: НБС-ННЦ; 2023.
6. Бондаренко ЗД, Багрикова НА. Современное состояние и возрастная структура ценопопуляций *Daphne laureola* (Thymellaceae) на особо охраняемых природных территориях Южного берега Крыма. Экосистемы. 2021;27:36-47.
7. Бондаренко ЗД, Багрикова НА. Эколого-биологические особенности сообществ с участием *Daphne laureola* на территории природного заповедника «Ялтинский горно-лесной». В кн.: Сотрудничество ботанических садов в сфере сохранения ценного растительного генофонда. Москва; 2022. С. 257-60.
8. Голубев ВН, Корженевский ВВ. Методические рекомендации по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма. Ялта: Никитский ботанический сад; 1985.
9. Корженевский ВВ. Об одном простом способе интерпретации экологических шкал. Экология. 1990;6:60-3.
10. Корженевский ВВ. Новый способ графического выражения зависимости видового богатства

- и комплексных градиентов среды. Экология. 1999;3:216-9.
11. Корженевский ВВ, Абраменков АА, Корженевская ЮВ. Кто выиграет в условиях трансформации средовых условий: сосна крымская или сосна алеппская? В кн.: Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 40-летию Сочинского национального парка. Сочи; 2023. С. 172-6.
 12. Корженевский ВВ, Плугатарь ЮВ, Корженевская ЮВ, Абраменков АА. Регенерационная ниша *Malva alcea* L. в крымских горах. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2020;(154):7-22. doi: 10.36305/2712-7788-2020-1-154-7-22.
 13. Миркин БМ, Наумова ЛГ, Соломещ АИ. Современная наука о растительности. Москва: Логос; 2001.
 14. Одум Ю. Экология. Москва; 1986.
 15. Павлов ДС, Стриганова БР, Букварева ЕН, Дгебладзе ЮЮ. Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития. Вестник РАН, 2010;80(2):131-40.
 16. Петросян ВГ, Осипов ФА, Фенева ИЮ, Дергунова НН, Хляп ЛА. Моделирование экологических ниш самых опасных инвазионных видов топ-100 России: проверка гипотезы консерватизма экологических ниш. Известия РАН Сер биол. 2023;7:70-92. doi: 10.31857/S102634702360022X.
 17. Плугатарь ЮВ, Багрикова НА, Белич ТВ, Костин СЮ, Крайнюк ЕС, Маслов ИИ, Садогурский СЕ, Садогурская СА, Саркина ИС. Природный заповедник «Мыс Мартьян». Симферополь: ИТ «АРИАЛ»; 2018.
 18. Плугатарь ЮВ, Коба ВП, Клименко ЗК, Корженевский ВВ, Смыков АВ, Исиков ВП, Комар-Темная ЛД, Паштецкий АВ, Головнев ИИ, Саркина ИС, Александров ЛМ, Зыкова ВК, Максимов АП, Пилькевич РА, Ругузова АИ, Губанова ТБ, Корженевская ЮВ, Цюпка СЮ, Плугатарь СА, Улановская ИВ, Смыкова НВ, Зубкова НВ, Герасимчук ВН, Федорова ОС, Гончаренко ВА, Головнева ЕЕ, Андрущенко ЗП, Спотарь ЕН, Квитницкая АА, Харченко АЛ, Палий ИН, Кравченко ИН, Князева ОИ, Рогатенюк ЛА, Палькеев АМ. Интродукция и селекция декоративных растений в Никитском ботаническом саду (современное состояние, перспективы развития и применение в ландшафтной архитектуре). Симферополь: ИТ «АРИАЛ»; 2015.
 19. Плугатарь ЮВ, Корженевский ВВ, Абраменков АА. Шибляк или маквис? О внедрении *Quercus ilex* L. в фитоценозы южнобережного Крыма. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022;3(164):6-19.
 20. Расевич ВВ, Дідух ЯП. Структура популяцій *Daphne laureola* L. на межі їх ареалу. Український ботанічний журнал. 2007;64(3):393-410.
 21. Селедец ВП. Типы экологических ниш видов растений и перспективы фитоиндикации на Дальнем Востоке России. Ботанический журнал. 2013;98(1):25-40.
 22. Allen JA, Brown CS, Stohlgren TJ. Non-native plant invasions of United States national parks. Biol Invas. 2009;11:2195-2207. doi: 10.1007/s10530-008-9376-1.
 23. Alonso C, Herrera CM. Neither vegetative nor reproductive advantages account for high frequency of malesteriles in southern Spanish gynodioecious *Daphne laureola* (Thymelaeaceae). Am J Bot. 2001;88:1016-24. doi: 10.1038/sj.hdy.6800550.
 24. Bagrikova NA, Skurlatova MV. The materials to the "Black Book" of the flora of the Crimean Peninsula. Russ J Biol Invas. 2021;12(3):244-57. doi: 10.1134/S2075111721030036.
 25. Baker ML. *Daphne laureola* L. (Thymelaeaceae): A weedy alien species new to Australia. Plant Protect Quart. 2013;28(1):3-5.
 26. Bello C, Cintra ALP, Barreto E, Vancine MH, Sobral-Souza Th, Catherine H, Graham CH, Galetti M. Environmental niche and functional role similarity between invasive and native palms in the Atlantic Forest. Biol Invas. 2021;23(3):741-54. doi: 10.1007/s10530-020-02400-8.
 27. Brown B. *Daphne laureola* in coastal B.C. Invasive Plant Council of B.C. Newsletter. 2006;4:2,4. URL: <http://invasiveplantcouncilbc.ca/publications/newsletters/Newsletter004.pdf>.
 28. Burrows G, Tyrl RJ. *Daphne* L. In: Toxic Plants of North America, 2nd edition. Ames, Iowa: Iowa State University Press. 2013. P. 1186-91.
 29. Castilla AR, Alonso C, Herrera CM Genetic structure of the shrub *Daphne laureola* across the Baetic Ranges, a Mediterranean glacial refugium and biodiversity hotspot. Plant Biol. 2011;14(3):515-24. doi: 10.1111/j.1438-8677.2011.00521.x.
 30. Castilla AR, Alonso C, Herrera CM. Exploring local borders of distribution in the shrub *Daphne laureola*: Individual and populations traits. Acta Oecol. 2011;37(3):269-76. doi: 10.1016/j.actao.2011.02.011.
 31. de Salas MF, Baker ML. A Census of the Vascular Plants of Tasmania, Including Macquarie Island. Hobart: Tasmanian Herbarium, Tasmanian Museum and Art Gallery;. 2021. ULR: <https://flora.tmag.tas.gov.au/resources/census/>
 32. Diagne C, Leroy B, Vaissière AC, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles JM, Corey JA Bradshaw, Courchamp F. High and rising economic costs of biological invasions worldwide.

- Nature. 2021;592:571-6. doi: 10.1038/s41586-021-03405-6.
33. Essl F, Lenzner B, Bacher S, Bailey S, Capinha C, Daehler C, Dullinger S, Genovesi P, Hui C, Hulme PE, Jeschke JM, Katsanevakis S, Kühn I, Leung B, Liebhold A, Liu C, MacIsaac HJ, Meyerson LA, Nuñez MA, Pauchard A, Pyšek P, Rabitsch W, Richardson DM, Roy HE, Ruiz GM, Russell JC, Sanders NJ, Sax DF, Scalera R, Seebens H, Springborn M, Turbelin A, van Kleunen M, von Holle B, Winter M, Zenni RD, Mattsson BJ, Roura-Pascual N. Drivers of future alien species impacts: an expert-based assessment. *Glob Change Biol.* 2020;26:4880-93. doi: 10.1111/gcb.15199.
 34. Fischer MA. Towards an excursion flora for Austria and all the Eastern Alps. *Botanica Serbica.* 2018;42 (1):5-33. doi: 10.5281/zenodo.1173550.
 35. GBIF. Global Biodiversity Information Facility. URL: <https://www.gbif.org/species/5420853>.
 36. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electronica.* 2001;4(1):9.
 37. GISP. Invasive Alien Species and Protected Areas. A Scoping Report. 1.2.2007. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=dfdfb9ed1147d7d55c1d96866ab8270d99f54296f>.
 38. IUCN. Invasive plants affecting Protected Areas of West Africa. Management for reduction of risk for biodiversity. Ouagadougou, BF: IUCN/PACO; 2013. URL: <https://papaco.org/wp-content/uploads/2015/08/Invasive-plants-study.pdf>.
 39. Jagrič M, Jarni K, Brus R. Sexual dimorphism and distribution of *Daphne laureola* L. in the Bohor area. *Acta Silvae et Ligni* 2013;101:23-32.
 40. Jakobs G, Weber E, Edwards PJ. Introduced plants of the invasive *Solidago gigantea* (Asteraceae) are larger and grow denser than conspecifics in the native range. *Divers Distrib.* 2004;0:11-9.
 41. Juskovic M, Zabar-Popovic A, Matejić JS, Mihajilov-Krstev T, Manojlovic N, Vasiljević P. Phytochemical screening, antioxidants and antimicrobial potential of leaves of *Daphne laureola* L. *Oxidation.* 2017;40:1058-69.
 42. Lei T. Environmental preferences and constraints of *Daphne laureola*, an invasive shrub in western Canada. *Can J Forest Res.* 2014;44 (11):1462-7. doi: 10.1139/cjfr-2014-0261.
 43. Liu C, Wolter C, Xian W, Jeschke JM. Most invasive species largely conserve their climatic niche. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2020;117(38):23643-51. doi: 10.1073/pnas.2004289117.
 44. Mačić V, Albano PG, Almpandou V, Claudet J, Corrales X, Essl F, Evangelopoulos A, Giovos I, Jimenez C, Kark S, Marković O, Mazaris AD, Ólafsdóttir G Á, Panayotova M, Petović S, Rabitsch W, Ramdani M, Rilov G, Tricarico E, Fernández TV, Sini M, Trygonis V, Katsanevakis S. Biological invasions in conservation planning: a global systematic review. *Front Mar Sci.* 2018;5:178. doi: 10.3389/fmars.2018.00178.
 45. Mack RN. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecol Appl.* 2000;10:689-710.
 46. Mucina L, Bültmann H, Dierßen K, Theurillat JP, Raus T, Čarni A, Šumberová K, Willner W, Dengler J, García RG, Chytrý M, Hájek M, Di Pietro R, Iakushenko D, Pallas J, Daniēls FJA, Bergmeier E, Santos Guerra A, Ermakov N, Valachovič M, Schaminée JHJ, Lysenko T, Didukh YaP, Pignatti S, Rodwell JS, Capelo J, Weber HE, Solomeshch A, Dimopoulos P, Aguiar C, Hennekens S.M, Tichý L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *App Veget Sci.* 2016;19(3):264. doi: 10.1111/avsc.12257.
 47. Pearman PB, Guisan A, Broennimann O, Randin CF. Niche dynamics in space and time. *Trends Ecol Evol.* 2008;23:149-58.
 48. Pili AN, Tingley R, Sy EY, Diesmos MLL, Diesmos AC. Niche shifts and environmental non-equilibrium undermine the usefulness of ecological niche models for invasion risk assessments. *Sci Rep.* 2020;14;10(1):7972.
 49. POWO. Plant of the World On-line. URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org>.
 50. Protopopova VV, Shevera MV. Ergasiophytes of the Ukrainian flora. *Biodiv Res Conserv.* 2014;35:31-46.
 51. Randall RP. A Global Compendium of Weeds. Perth, Western Australia; 2017.
 52. Richardson DM, Pyšek P, Carlton JT. A compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology. In: *Fifty Years of Invasion Ecology: The Legacy of Charles Elton.* Oxford: Blackwell Publishing; 2011. P. 409-20.
 53. Rolland J, Silvestro D, Schluter D, Guisan A, Broennimann O, Salamin N. The impact of endothermy on the climatic niche evolution and the distribution of vertebrate diversity. *Nat Ecol Evol.* 2018;2:459-64. doi: 10.1038/s41559-017-0451-9.
 54. Santamarina S, Mateo RG, Alfaro-Saiz E, Acedo C. On the importance of invasive species niche dynamics in plant conservation management at large and local scale. *Front. Ecol Evol.* 2023;10:1049142. doi: 10.3389/fevo.2022.1049142.
 55. Seebens H, Blackburn TM, Dyer EE, Genovesi P, Hulme PE, Jeschke JM, Pagad S, Pyšek P, Winter M, Arianoutsou M, Bacher S, Blasius B, Brun-

- du G, Capinha C, Celesti-Gradow L, Dawson W, Dullinger S, Fuentes N, Jager H, Kartesz J, Kenis K, Kreft H, Kuhn I, Lenzner B, Liebhold A, Mose-
na A, Moser D, Nishino M, Pearman D, Pergl J, Rabitsch W, Rojas-Sandoval J, Roques A, Rorke S, Rossinelli S, Roy H.E, Scalera R, Schindler S, Štajerova K, Tokarska-Guzik B, van Kleunen M, Walker K, Weigelt P, Yamanaka T, Essl F. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nat Commun.* 2017;8(1):1-9. doi: 10.1038/ncomms14435.
56. Seregin AP. Contribution to the vascular flora of the Sevastopol area (the Crimea): a checklist and new records. *Flora Mediterranea.* 2008;18:171-246.
57. Strelau M, Clements DR, Webb C, Prasad R. The biology of Canadian weeds: 156. *Daphne laureola* L. *Can J Plant Sci.* 2018; 98 (4):947-58. doi: 10.1139/cjps-2017-0247.
58. Swearingen J. Invasive Plant Atlas of the United States. Plant Species Reported to be Invasive in Natural Areas. National Park Service and the University of Georgia Center for Invasive Species and Ecosystem Health; 2015. URL: <http://www.invasiveplantatlas.org/distribution.html>.
59. Suárez-Mota ME, Ortiz E, Villaseñor JL, Espinosa-García FJ. Ecological niche modeling of invasive plant species according to invasion status and management needs: the case of *Chromolaena odorata* (Asteraceae) in South Africa. *Polish J Ecol.* 2016;64(3):369. doi: 10.3161/15052249PJE 2016.64.3.007.
60. Tingley R, Vallinoto M, Sequeira F, Kearney MR. Realized niche shift during a global biological invasion. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2014; 111: 10233-8.
61. Tundis R, Cappello AR, Bonesi M, Peruzzi L, Loizzo MR. Extracts of different polarity of *Daphne laureola* L. as valuable source of antioxidant and neuroprotective compounds. *Med Sci Forum.* 2021;2(19). doi: 10.3390/CAHD2020-08560.
62. Vukelić J, Baričević D, Pernar N, Bakšić D, Racić D, Vrbek B. Phytocoenological-pedological features of subalpine beech forests (as. *Ranunculo platani-foliae-Fagetum* Marinček et al. 1993) on Northern Velebit. *Periodicum Biologorum.* 2008;110 (2):163-71.
63. Vukelić J., Šapić I, Alegro A, Šegota V, Stankić I, Baričević D. Phytocoenological analysis of grey alder (*Alnus incana* L.) forests in the Dinarides of Croatia and their relationship with affiliated communities. *Tuexenia.* 2017;37:65-78. doi: 10.14471/2017.37.014.
64. Wiens JJ, Graham CH. Niche conservatism: Integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2005;36:519-39.
65. Wilton AD, Schönberger I, Boardman KF, Breitwieser I, Cochrane M, Dawson MI, de Lange PJ, de Pauw B, Fife AJ, Ford KA, Gibb ES, Glenny DS, Heenan PB, Korver MA, Novis PM, Redmond DN, Smitten RD, Tawiri K. Checklist of the New Zealand Flora – Seed Plants. Lincoln: Manaaki Whenua-Landcare Research; 2016.
66. Written Findings of the Washington State Noxious Weed Control Board; 2006. URL: https://www.nwcb.wa.gov/images/weeds/Daphne_laureola_Written-Findings.pdf.
67. Xian X, Zhao H, Wang R, Qiao H, Guo J, Zhang G, Liu W, Wan F. Ecological niche shifts affect the potential invasive risk of *Rapistrum rugosum* (L.). *China Front Plant Sci.* 2022;13:827497. doi: 10.3389/fpls.2022.827497.

САПРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ СРЕДНЕ-ВОЛЖСКОГО БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА ПО ВОДОРΟΣЛЯМ-ИНДИКАТОРАМ

О.Г. Горохова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
Тольятти, Россия

Эл. почта: o.gorokhova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2024; принята к печати 30.10.2024

Проведен сапробиологический анализ малых водоемов и водотоков на территории Средне-Волжского комплексного биосферного резервата (Самарская область) по водорослям-индикаторам. Впервые приводятся данные о таксономическом составе индикаторов, величинах и сезонной динамике индексов сапробиности. В водоемах к индикаторным относятся от 60 до 93% видов, в водотоках – от 62 до 87%. Среди доминирующих видов показателями сапробиности являются от 55 до 75%. Средние величины индексов сапробиности составляют: в водоемах – 1,79–1,99, в водотоках – 1,78, что соответствует β-мезосапробной зоне самоочищения. Для водоемов отмечено разнообразие типов сезонной динамики величин индексов, связанное с различиями по гидролого-гидрохимическим условиям, структурирующим доминирующий комплекс видов. В водотоках индексы сапробиности ниже, чем в водоемах. По их величинам в верхнем течении рек качество вод соответствует олигосапробному состоянию, в среднем и нижнем – β-мезосапробному; повышение индексов отмечается у населенных пунктов, в запрудах, в зоне подпора водохранилища. Содержание легко окисляемых органических веществ (по БПК₅) положительно коррелирует с численностью видов отделов Dinophyta и Cyanoprokaryota, а также некоторых групп фитофлагеллят. При оценке сапробиности в условиях небольшой антропогенной нагрузки информативными являются не только величины индексов, но и видовые составы индикаторов, а также соотношения чисел видов-индикаторов и численностей каждого в сравниваемых водных объектах.

Ключевые слова: сапробиологический анализ, виды-индикаторы, автотрофный планктон, Средне-Волжский комплексный биосферный резерват.

INDICATOR ALGAE-BASED SAPROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SMALL RESERVOIRS AND WATERCOURSES IN MIDDLE VOLGA BIOSPHERE RESERVE

O.G. Gorokhova

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia

Email: o.gorokhova@yandex.ru

A saprobiological analysis of small reservoirs and watercourses in the territory of the Middle Volga Complex Biosphere Reserve (Samara Region) was carried out using indicator algae. For the first time, data are presented on the taxonomic composition of indicator algae and on the values and seasonal dynamics of saprobity indices. In small reservoirs, 60 to 93% of species are indicator species and in watercourses, 62 to 87%. Among the dominant species, 55 to 75% are indicator species. The average values of saprobity indices are 1.79-1.99 in reservoirs and 1.78 in watercourses consistent with the β-mesosaprobic self-purification zone. For small reservoirs, a variety of types of seasonal dynamics of indices is noted. This is associated with differences in hydrological and hydrochemical conditions that structure the dominant complex of species. In watercourses, saprobity indices are lower than in reservoirs. According to their values, water quality corresponds to the oligosaprobic state in the upper reaches of the rivers and to the β-mesosaprobic state in the middle and lower reaches. An increase in indices is observed near populated areas, in dams, and in the backwater zone of reservoirs. The content of easily oxidizable organic matter (according to BOD₅) positively correlates with the number of algae of the Dinophyta and Cyanoprokaryota divisions, as well as with some groups of phytoflagellates. When assessing saprobity under conditions of low anthropogenic load, not only the index values are informative, but also the species composition of indicators, as well as the ratios of the number and abundance of indicator species in the compared water bodies.

Key words: saprobiological analysis, indicator species, autotrophic plankton, Middle Volga Complex Biosphere Reserve.

Введение

Одним из методов оценки качества вод природных водоемов по состоянию гидробионтов является сапробиологический анализ. Биологическое самоочищение осуществляется планктонными и донными сообществами, вовлекающими в метаболизм различные вещества и обеспечивающими процесс формирования качества вод. Автотрофный планктон является важнейшим агентом влияния на газовый режим и участником процессов преобразования веществ в водной среде [30]. Структурные и функциональные характеристики сообществ водорослей отражают экологические изменения и степень воздействия на среду их обитания, а многие виды являются биологическими индикаторами, развиваясь в пределах допустимых для них условий [18, 19, 21, 25, 28, 30, 31, 34].

Экологическое состояние водоемов на охраняемых территориях наиболее благополучно, поэтому исследования, проводимые на ООПТ, актуальны для сравнения и оценки воздействия на водные объекты в условиях антропогенной нагрузки. Средневожский биосферный резерват (СВБР) находится в пределах Приволжской возвышенности, лесостепной физико-географической области Русской равнины. Резерват

обеспечивает охрану уникального природно-территориального комплекса Самарской Луки (основная зона резервата) и ряда природных объектов в переходной зоне [2, 8]. В ходе многолетних гидробиологических исследований водоемов и водотоков территории резервата [2, 12, 13] были получены данные о таксономическом составе и количественном развитии водорослей-индикаторов сапробиности. Доля видов-индикаторов в альгофлоре составляет от 60 до 93% в каждом из водных объектов, а среди доминирующих видов – 55–75%, что позволяет провести сапробиологический анализ.

Цель настоящей работы – альгологическая характеристика сапробиности малых водоемов и водотоков на территории Средне-Волжского комплексного биосферного резервата.

Материалы и методы

Характеристика района исследований

В национальном парке Самарская Лука (рис. 1) исследованиями охвачены различные по происхождению водоемы: пойменные озера, водоемы заторфованных староречий на надпойменной террасе, озера в карстовых воронках, пруды. Часть этих водоемов так-



Рис. 1. Схема района исследований

же являются памятниками природы: пойменное озеро Большое Шелехметское, карстовое озеро Золотенка, озеро надпойменной террасы Клюквенное и др. [2].

Все изученные водные объекты находятся на охраняемых территориях федерального значения (СВБР), некоторые имеют также и самостоятельный статус охраны. Например, на территории памятника природы «Рачейский бор» (рис. 1) изучены три водоема в ландшафте верховых болот. В Самарской области болота отнесены к группе редких гидробиоценозов [2]. Из болот «Рачейского бора» два объявлены памятниками природы: «Узилово болото» и «Моховое болото».

Наиболее беден поверхностными и грунтовыми водами ландшафт Жигулевских гор: водоемы, изученные на территории Жигулевского заповедника (рис. 1), имеют техногенное происхождение – они появились в первой половине прошлого века в карьерах после выработки глины, а также разработки битуминозного песчаника – так называемые «гудронные озера» [2].

Из числа исследованных прудов большинство расположены у населенных пунктов в пределах территории СВБР.

Из водотоков на территории СВБР изучены река Уса (рис. 1) и ее основные притоки Теренгулька, Тишерек, Муранка [2, 7].

Для удобства рассмотрения и анализа данных сгруппировать водные объекты СВБР можно различными способами: по происхождению, по составу и структуре сообществ гидробионтов. В данной статье водные объекты будут объединены в группы главным образом по положению в ландшафтах СВБР и нахождению на территории резервата.

Комплексные гидробиологические исследования были проведены в 1998–2009 годах для водоемов и в 2015–2022 годах для водотоков. В 2017–2018 годах с целью оценить значимость показателей альгоценозов на участке воздействие точечного источника антропогенного загрязнения водотока были проведены гидробиологические исследования реки Уса в зоне выпуска очищенных сточных вод населенного пункта (с. Шигоны). Сбор проб был проведен в 2 км до места сброса и после него, а также в 4 км ниже по течению.

Методы сбора и обработки проб

Сбор и обработка проб проведены в соответствии с методами, принятыми при альгологических исследованиях [10]. Пробы объемом 0,5 л отбирали с поверхностного горизонта, а для изучения вертикального распределения фитопланктона – через 1 м от поверхности до дна; пробы фиксировали раствором Люголя в модификации Г.В. Кузьмина и концентрировали вакуумной фильтрацией через мембранные фильтры [10]. Часть проб обрабатывали живыми для более полного изучения состава альгофлоры. Для определения таксономической принадлежности диато-

мовых водорослей готовили постоянные препараты. Определение, подсчет и измерение водорослей проведено в счетной камере типа «учинская», биомассы вычислены счетно-объемным методом [10]. К массовым (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие соответственно от 5 до 10% и более 10% суммарной численности или биомассы фитопланктона.

Индекс сапробности для каждой пробы рассчитан по численности индикаторов с помощью индивидуальных характеристик сапробности видов по принятым методикам [1, 9, 14, 32, 34]. Для оценки связи численности видов-индикаторов с величиной БПК₅ и перманганатной окисляемостью, а также с численностью бактерий рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Значимыми приняты корреляции при ($p \leq 0,05$).

Характеристика абиотических условий

Подробная гидролого-гидрохимическая характеристика каждого из водоемов с оценкой трофического статуса приведена в более ранней публикации [4]. В целом же изученные водоемы в морфометрическом отношении являются малыми: площадь – от 0,6 до 6 га (у пойменных озер – до 30 га); максимальные глубины – от 0,7 до 4,0 м (у пойменных и карстовых – до 7,5 м). К гидролого-гидрохимическим особенностям следует отнести разнообразие водоемов по цветности (от 14 до 344 °Pt) и pH (от 3,0 до 8,1), а также небольшие величины прозрачности – до 1,0–1,5 м (в водоемах с «цветением» воды – 0,1–0,5 м). Характерно высокое содержание биогенных элементов в воде большинства водоемов: концентрация общего фосфора часто выше 0,1 мг/л, максимальные значения до 1,4–2,6 мг/л; содержание минерального азота, представленного в основном аммонийным ионом – от 0,2 до 11,3 мг/л, в среднем 1 мг/л [2, 11–13]. Температурный режим существенно зависит от погодных условий: в период открытой воды температура изменяется в поверхностном горизонте от 3–4 до 24 °С (в наиболее мелководных – до 27–30 °С). Водоемы с глубиной более 1,5 м летом термически стратифицированы, это в свою очередь создает вертикальные градиенты гидрохимических параметров, в том числе различия в содержании кислорода и биогенных элементов [2, 11–13]. В большинстве озер обильны макрофиты (погруженные и прибрежные), в водотоках на участках с замедленным течением и мелководьях макрофиты также развиты.

Малые реки, исследованные на территории СВБР, – небольшие по протяженности равнинные водотоки. Они имеют длину от 18 до 76 км, глубины на разных участках от 0,2 до 3,5 м. Величины прозрачности часто составляют не более 1 м, максимальные – до 2 м; значения pH воды – от 6,9 до 7,4. Температура воды

летом от истока к устью рек изменяется от 9 до 24 °С. Концентрация основных биогенов в водотоках, так же как в водоемах, высокая: минерального фосфора – от 0,4 до 1,8 мг/л (максимальные величины 2,3–3,6 мг/л); минерального азота с преобладанием нитратной формы – от 0,2 до 2,3 мг/л [7, 23]. Трофическое состояние водных объектов, оцененное по среднему содержанию общего фосфора, концентрации хлорофилла, биомассе водорослей в озерах эвтрофное и гиперэвтрофное [4, 11], в водотоках же оно изменяется на разных участках в основном от олиго- до эвтрофного [23].

Поскольку термин «сапробность» касается способности вида развиваться при большей или меньшей концентрации органических загрязнений в воде, следует отметить, что для исследованных водоемов СВБР в целом характерно высокое содержание органических веществ в воде. Например, величина биологического потребления кислорода (БПК₅) как критерия уровня содержания легкоокисляемых органических веществ для пойменных озер и водоемов надпойменной террасы Самарской Луки находится в пределах 2,9–13,2 мг/л, для прудов – 2,4–19,2 мг/л [15], для карстовых озер – 1,7–0,2 [3]. Максимальное значение БПК₅ в поверхностных горизонтах воды исследованных водоемов регистрируют в июле–августе [12, 13], что связано с активным развитием фитопланктона. В водоемах Жигулевского заповедника и болотных озерах содержание органического вещества оценено по перманганатной окисляемости, ее величина составляла соответственно 5,2–76,2 и 9,6–48,0 мг О/л [6, 12]. Наиболее высоким содержанием органического вещества и низкой долей его легко окисляемой фракции отличаются водоемы с высокой цветностью воды (более 100 °Pt), обусловленной как содержанием гуминовых кислот, так и высокими концентрациями железа в ряде озер [6, 12, 15]. Содержание растворенного в воде кислорода максимально в летние месяцы, когда поверхностный слой воды насыщен кислородом из-за фотосинтеза, в то же время в придонных горизонтах термически стратифицированных озер наблюдаются анаэробные условия [2, 12, 15]. В отличие от водоемов, в водотоках содержание органического вещества меньше: по данным аккредитованной гидрохимической лаборатории ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» г. Самара величина БПК₅ находится в пределах 0,98–1,26 мг/л, перманганатной окисляемости – 2,4–7,4 мг О/л.

Результаты и обсуждение

Особенности таксономической структуры автотрофного планктона

Многолетними исследованиями на территории СВБР выявлено высокое видовое богатство и разнообразие водорослей. Только в 23 озерах идентифи-

цировано 909 видов и внутривидовых таксонов из 9 систематических отделов [4], в сводном списке альгофлоры планктона малых рек СВБР (р. Уса и ее притоки) зарегистрировано более 200 видов [7]; в настоящее время эти сведения дополняются данными современных исследований. В водоемах наибольшее видовое богатство отмечено в отделах Chlorophyta (38%), Bacillariophyta (19%) и Euglenophyta (16%). В отличие от озер, в водотоках преобладали Bacillariophyta – 41%, доля Chlorophyta также высока – 35%; на третьем месте – Euglenophyta и Cyanoprokaryota (по 8%). Представители перечисленных отделов создают основу видового богатства на уровне таксонов различного ранга: порядков, семейств и родов. В эколого-географическом отношении состав формируют планктонные виды водорослей со значительной долей обитателей бентоса, обрастаний и литорали. Большинство видов – широко распространенные пресноводные формы, предпочитающие нейтральные и слабощелочные мезо-эвтрофные воды.

Таксономический состав индикаторов и сезонная динамика величин индексов сапробности

Разнообразие водных объектов по морфометрическим и гидролого-гидрохимическим характеристикам привело к формированию в каждом из них индивидуальной таксономической структуры альгофлоры даже в близко расположенных водоемах одного ландшафта [4]. Также разнообразен в них и состав преобладающих групп водорослей – как видно (табл. 1), среди доминирующих представлены почти все отделы, при этом видовой состав и структура доминирующего комплекса исключительно специфичны.

Индикаторы сапробности представлены большим числом видов в каждом из водных объектов: доля их в составе альгофлоры не менее 60% (табл. 1). Много индикаторных видов среди фитофлагеллят отделов Chlorophyta, Cryptophyta, Chrysophyta. В большинстве водоемов разнообразны Euglenophyta, число индикаторов сапробности в этом отделе максимально. По средним величинам индексов состояние всех исследованных водных объектов β-мезосапробное (умеренное загрязнение, класс III качества). Диапазон индексов характеризует условия от олигосапробных до α-мезосапробных. Сезонная динамика индексов сапробности, а также показателей содержания органических веществ в исследованных водоемах различалась; максимальные величины индексов отмечены в разное время, что могло быть связано с привнесением аллохтонной органики (весной и в послепагодковий период) или с внутриводоемными процессами (например, разложением макрофитов поздней осенью).

В каждом водном объекте группа индикаторов сапробности из числа массовых видов фитопланктона включает от 55 до 75% видов. Анализ их состава, а

Доля индикаторов сапробности в составе альгофлоры, средние значения и пределы изменения величин индексов и таксономический состав преобладающих отделов фитопланктона

| Доля* видов-индикаторов | Средние значения и пределы изменения величин индексов | Таксономический состав преобладающих** отделов автотрофного планктона |
|-----------------------------------|---|--|
| <i>Озера волжской поймы</i> | | |
| 66–83 | 1,84 (1,78–2,23) | Цианопрокариота, Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta |
| <i>Озера надпойменной террасы</i> | | |
| 63–80 | 1,79 (0,88–2,69) | Bacillariophyta, Цианопрокариота, Chlorophyta, Cryptophyta, Chrysophyta |
| <i>Пруды</i> | | |
| 73–93 | 1,99 (1,64–2,42) | Chlorophyta, Euglenophyta, Цианопрокариота |
| <i>Карстовые озера</i> | | |
| 60–82 | 1,86 (1,24–2,20) | Chlorophyta, Цианопрокариота, Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta |
| <i>Техногенные водоемы</i> | | |
| 61–84 | 1,89 (1,80–3,06) | Chlorophyta, Цианопрокариота, Dinophyta, Chrysophyta |
| <i>Болотные водоемы</i> | | |
| 62–79 | 1,85 (1,60–2,27) | Chlorophyta, Euglenophyta, Raphidophyta, Cryptophyta, Цианопрокариота, Chrysophyta |
| <i>Малые реки</i> | | |
| 62–87 | 1,78 (1,12–2,21) | Bacillariophyta, Chlorophyta |

* Доля дана в процентах от общего состава альгофлоры в группе водоемов. ** Простым шрифтом обозначены отделы, виды которых доминируют с высокой численностью большую часть периода открытой воды, курсивом – в отдельные сезоны.

также сезонных изменений индексов сапробности позволил выделить ряд особенностей, связанных с гидролого-гидрохимическими характеристиками водных объектов.

Озера волжской поймы

В пойменных озерах состав индикаторов и динамика индексов зависят от степени гидрологической связи с водохранилищем. Из многочисленной группы предварительно обследованных пойменных озер для подробного изучения было выбрано озеро Шелехметское как наиболее типичный водоем поймы в районе проведения исследований [2, 13, 15]. В фитопланктоне озера в зоне подпора, в особенности весной, индикационные показатели почти идентичны таковым самого водохранилища (рис. 2 А, В). Весь период открытой воды наблюдается преобладание видов, характерных для волжских водохранилищ: Bacillariophyta (виды класса Centrophyceae) и Цианопрокариота (*Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk.; *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb). Индексы сапробности изменялись в зависимости от состава доминирующих видов: в апреле–мае и в ноябре доминировали Centrophyceae:

Stephanodiscus minutulus (Kütz.) Cl. et Möller, *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Stephanodiscus hantzschii* Grun. Это α-мезосапробы и α-мезо-полисапробы. Летом наблюдалось снижение величин индексов (рис. 1В), поскольку к доминирующим видам в основном принадлежали β-мезосапробы: из цианопрокариот – *Anabaena flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.; из диатомовых – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. В то же время по мере удаления от места соединения пойменного озера с водохранилищем изменяются как индексы сапробности, так и видовой состав индикаторов. Так, при сравнении фитопланктона наиболее близкой к водохранилищу станции озера Шелехметское и наиболее удаленной от него отмечен ряд изменений. Главное из них касается обогащения видовой состава (в том числе и группы массовых видов) лимнофильными компонентами: фитофлагеллятами отделов Euglenophyta, Chlorophyta. Кроме того, хорошо заметно увеличение таксономического богатства и численности представителей порядка Chlocoococcales (Chlorophyta), предпочитающих стоячие и медленнотекущие воды. Эти изменения состава влияют на величины индексов сапробности, нередко в сто-

рону их увеличения. Наконец, в пойменных озерах, которые летом полностью теряют связь с водохранилищем, состав массовых видов, в том числе индикаторов сапробности, настолько же индивидуален, как и в бессточных озерах территории Самарской Луки.

К следующей группе можно отнести водоемы, в которых условия для развития планктонных водорослей неблагоприятны. В основном это относится к изученным водоемам надпойменной террасы, в которых мелководность, зарастание, пересыхание и высокая цветность – основные факторы, контролирующие видовой состав и структуру их альгоценозов [4]. В этой группе озер пределы изменения индексов сапробности наибольшие, а сезонные изменения величин во многих из них хаотичны (рис. 3А). В то же время, один из ацидных техногенных водоемов (из группы так называемых

«Гудронных озер» в Жигулевском заповеднике) является примером того, как жесткие экологические условия приводят к длительному доминированию одного-двух видов, что обуславливает почти неизменную величину индекса сапробности в течение нескольких месяцев (рис. 3В). Так, низкие значения pH (3,4–3,6) стали фактором, приведшим к упрощению структуры альгоценоза этого водоема, к ее низкому видовому разнообразию (индекс Шеннона составил 0,01) и к преобладанию в планктоне нескольких ацидоустойчивых видов (*Euglena mutabilis* Schmitz, *Chlamydomonas reinhardtii* Dang.) [4].

Поскольку в каждом из водоемов этой группы сочетание стрессовых факторов специфично, это ведет к экологическому подбору адаптированных видов и к большому разнообразию состава индикаторов.

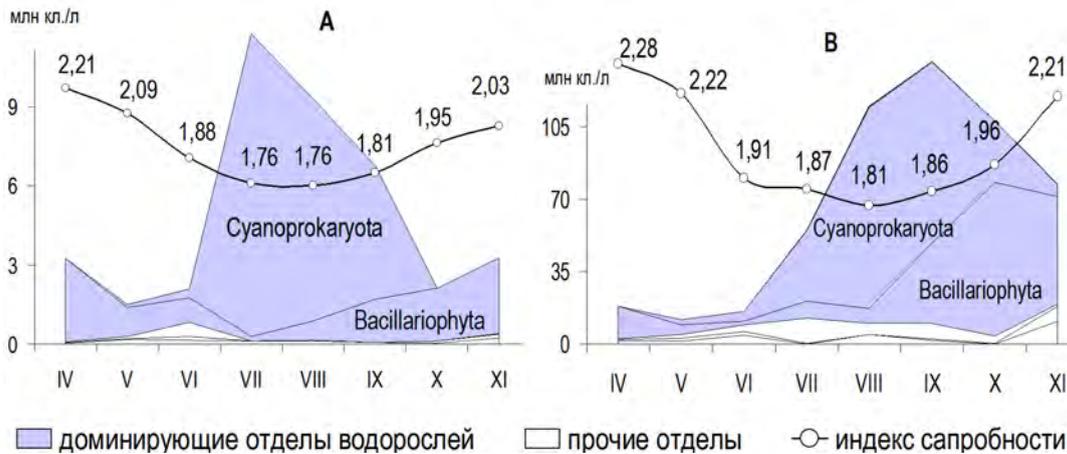


Рис. 2. Сезонная динамика величин индекса сапробности и численности фитопланктона участка Саратовского водохранилища (А) и пойменного озера (В) в 2 км от места его соединения с водохранилищем

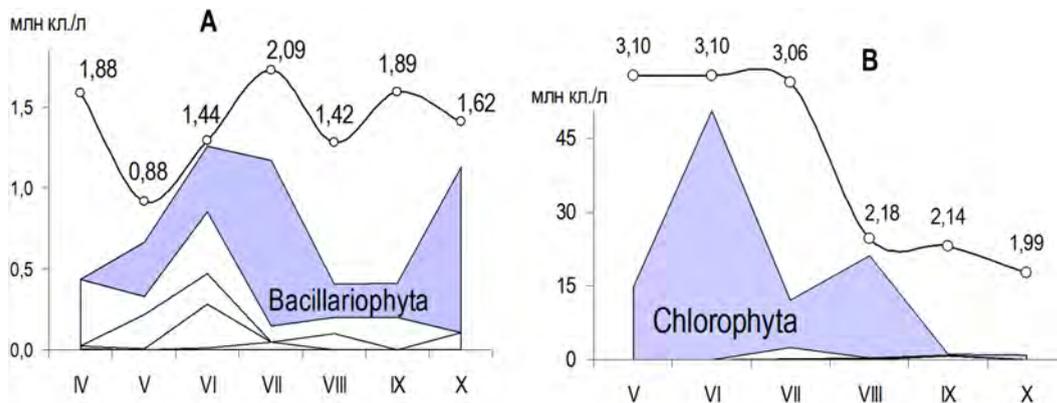


Рис. 3. Сезонная динамика величин индекса сапробности и численности фитопланктона водоемов в связи с действием неблагоприятных экологических факторов: А – мелководный водоем надпойменной террасы; В – ацидный техногенный водоем. Обозначения см. рис. 2

Пруды территории СВБР

Эти водоемы отличаются самыми высокими средними величинами индексов сапробности и долей видов-индикаторов (табл.). Это, вероятно, связано с тем, что в большинстве пруды находятся у населенных пунктов и используются населением в различных целях. По численности летом в некоторых из прудов доминируют Cyanoprokaryota, но состав массовых видов у них иной, чем в озерах поймы: нередко отмечены *Aphanothece stagnina* (Sprengel) A. Braun, *A. microscopica* Nägeli, *A. clathrata* W. et G.S. West, *Merismopedia tenuissima* Lemm., *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) Cronb. & Kom. Развитие этих видов в планктоне может продолжаться весь летне-осенний период. Так, в одном из прудов наблюдалось длительное доминирование вида *Merismopedia tenuissima* – индикатора β-α-мезосапробной зоны самоочищения, в это время отмечены и максимальные величины индексов (рис. 4А).

Однако во многих прудах представители Cyanoprokaryota не доминируют, в их планктоне в массе развиваются в основном виды отделов Chlorophyta и Euglenophyta. Из зеленых водорослей это жгутиковые формы: виды родов *Carteria*, *Chlamydomonas* (*C. monadina* (Ehr.) Stein; *C. globosa* Snow), *Chlorogonium* (*C. euchlorum* Ehr.), *Pandorina morum* (O. Müll.) Borg, а также разнообразные виды порядка Chlorococcales из родов *Monoraphidium* (*M. contortum* (Thuret) Kom.-Legn., *M. minutum* (Näg.) Kom.-Legn.), *Dictyosphaerium*, *Coelastrum*, *Scenedesmus* и др. Эвгленовые водоросли в озерах и прудах СВБР представлены очень разнообразно, но в массе развиваются немногие виды этого отдела. К доминирующим относятся, например: *Trachelomonas hispida* (Perty) emend. Defl., *T. volvocina* Ehr., *Euglena acus* Ehr., эпизодически высокой численности достигают *Euglena viridis* Ehr., *E. hemichromata* Skuja, *E. caudata* Hubner., *Lepocinclis ovum* (Ehr.) Lemm. На рис. 4В показана сезонная динамика

численности и состава доминирующих видов и связанные с этим изменения индекса сапробности. Большинство указанных видов – α-β-мезосапробы, α-мезосапробы, α-мезо-полисапробы. Как видно (рис. 4В) со сменой состава этих массовых форм происходит понижение, а с максимумом развития вида – повышение величин индексов сапробности.

Группа карстовых озер

Сезонная динамика индексов сапробности в таких озерах также отражает изменения структуры доминирующего комплекса видов, состав которого в каждом водоеме специфичен. Например, одно из слабоацидных озер этой группы (Золотенка) характеризуется почти полной периодической потерей воды. Видовой состав его альгоценозов небогат, однако в годы наполнения карстовой воронки в воде наблюдалось массовое развитие представителей отдела Chrysophyta (виды рода *Dinobryon* и *Mallomonas caudata* Iwan.). Эти виды доминировали в планктоне на протяжении нескольких месяцев, поэтому изменения индекса сапробности были незначительны. Однако в озерах с мозаичной структурой комплекса массовых форм изменение величин индексов хорошо выражено при смене состава доминирующих видов-индикаторов. Именно такие особенности были отмечены, например, для мелководного заросшего макрофитами карстового озера. Его альгоценозы были исключительно разнообразны (индекс Шеннона по численности 3,1–4,4), а для сезонной сукцессии характерна быстрая смена видового состава, в том числе доминирующих видов, а также индикаторов сапробности.

Группы техногенных и болотных водоемов

Сезонные изменения величин индексов сапробности в них аналогичны: преобладание или массовое развитие тех или иных видов-индикаторов меняет величину индекса.

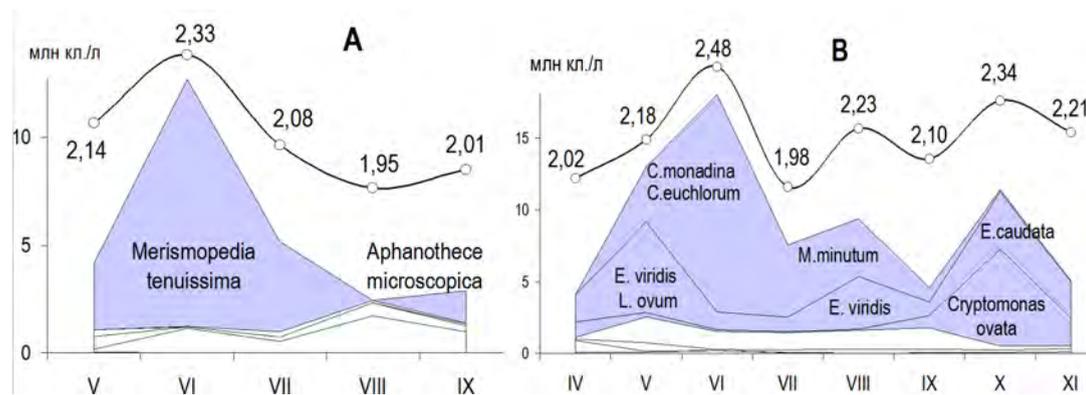


Рис. 4. Сезонные изменения величин индекса сапробности и численности видов-индикаторов

Примечание: полные названия видов даны в тексте.

Связь величин индексов сапробности с таксономическим составом фитопланктона и содержанием органических веществ

В 85% водоемов, для которых определено БПК₅, связь этого показателя с суммарной численностью видов-индикаторов значимо положительная (R от 0,60 до 0,84). Дальнейший анализ показал следующее: в 60% водоемов величина БПК₅ положительно коррелирует с численностью Dinophyta (R от 0,50 до 0,72) и Chlorophyta (R 0,51–0,60); еще в 45% водоемов – с численностью Euglenophyta (R 0,58–0,89), Chrysophyta (R 0,53–0,72) и Cyanoprokaryota (R 0,50–0,94).

В отделах Dinophyta и Cyanoprokaryota корреляционная связь численности с величиной БПК₅ всегда положительная, в других отделах отмечена как прямая, так и обратная зависимость этих показателей: в частности для фитофлагеллят отделов Cryptophyta, Chrysophyta и Euglenophyta. Ряд представителей этих отделов – миксотрофы, которые могут использовать осмотрофию, фаготрофию для получения питательных и других необходимых веществ при ограничении доступности световых и трофических условий. Так, для некоторых видов родов *Mallomonas*, *Euglena*, *Cryptomonas* показано, что эффективной стратегией питания у них является поглощение растворенных органических соединений [22, 29], а для представителей родов *Dinobryon*, *Cryptomonas* описана способность поглощать бактерий [20, 26, 27, 33]. В исследованных нами озерах СВБР для численности видов Cryptophyta и величин БПК₅ значимыми в целом ряде озер были только отрицательные корреляции.

Поскольку в озерах СВБР сезонные изменения численности бактериопланктона отражают динамику содержания легкоразлагаемого органического вещества и уровня развития фитопланктона [12, 16, 17], была проанализирована связь численностей видов рода *Cryptomonas* (Cryptophyta) и рода *Dinobryon* (Chrysophyta) с общей численностью бактерий. В ряде водоемов с отрицательной корреляцией численности этих родов с БПК₅ были получены положительные коэффициенты корреляции с общей численностью бактерий (R 0,51–0,75). Проведенный анализ связи численности видов-индикаторов и величин индексов сапробности с перманганатной окисляемостью показал, что в большинстве озер коэффициенты корреляции этих параметров незначимы.

Несмотря на то что водоемы СВБР различаются по количеству растворенного органического вещества и по содержанию его легко окисляемой фракции [12, 13, 15], на эту разницу в основном реагирует видовой состав фитопланктона, а не доля видов-индикаторов сапробности. Например, при термической стратификации и изменении вертикального распределения основных биогенов, растворенного органического вещества и содержания кислорода, в водоеме формируются

такая видовая структура альгоценоза, которая позволяет использовать эти особенности видам, способным изменять свое положение по профилю глубины: крупноклеточным подвижным фитофлагеллятам или видам, регулирующим свой удельный вес. Для водоемов СВБР установлено, что массовые виды совершают суточные вертикальные миграции и формируют максимумы плотности на разной глубине, что следует рассматривать как адаптивную стратегию для использования трофических и световых ресурсов и избегания межвидовой конкуренции [24].

Характеристика сапробности рек

Для альгоценозов рек СВБР показано, что экологическая неоднородность по длине водотоков обуславливает значительную динамику таксономического состава и количественной структуры, которые в отсутствие биогенного лимитирования зависят от гидрологических факторов и биотопической неоднородности естественного и антропогенного происхождения [23]. В исследованных водотоках индексы сапробности ниже, чем в водоемах (табл.) и в целом увеличиваются от истока к устью. В верхнем течении состояние рек в основном олигосапробное (чистые воды), в среднем и нижнем течении – β-мезосапробное (умеренное загрязнение). Индексы сапробности выше у населенных пунктов, на подпруженных участках, а также в зоне подпора водохранилища; в отличие от этого участки водотоков со свободным течением характеризуются снижением индексов: найдена значимая отрицательная корреляция между величинами индексов и скоростями течения (R от –0,66 до –0,72).

Количество растворенного кислорода в воде рек в 75% проб близко к насыщению или выше (от 7 до 14 мг/л); отмечена значимая корреляционная связь изменения концентрации растворенного кислорода с продольной динамикой индексов сапробности (R 0,55). Например, в нижнем течении р. Уса в зоне подпора Куйбышевского водохранилища содержание кислорода снижается, а сапробность вод к устьевому участку возрастает. Это может свидетельствовать об увеличении загрязнения вод органическими веществами и снижении самоочистительной способности. В отличие от водотоков достоверная положительная связь этих показателей отмечена лишь для трети водоемов СВБР.

Оценка информативности показателей сапробности в условиях ООПТ

Гидробиологические исследования, проведенные на ООПТ, выявили, что таксономические и структурные особенности сообществ гидробионтов являются хорошими показателями экологического состояния водных объектов [2–7, 11–13]. Что касается оценки сапробности по показателям альгоценозов,

то видовой состав индикаторов и величины индексов также являются характеристиками, которые достаточно четко реагируют на изменения условий обитания. Для водных объектов СВБР это особенно важно, поскольку такая оценка позволяет в условиях небольшой антропогенной нагрузки регистрировать изменения, не выявленные методами гидрохимического анализа [5].

Для замкнутых водоемов СВБР наиболее высокими величинами индексов сапробности и долей видов-индикаторов, как сказано выше, отличаются пруды (табл.). Среди них следует выделить те, которые находятся непосредственно у населенных пунктов и испытывают такие виды антропогенного воздействия, как рекреация, рыбная ловля и др. Нередко в планктоне именно этих водоемов доминируют «высокосапробные» виды-индикаторы органического загрязнения, что является наиболее показательным для характеристики сапробных условий. В частности, из отдела Cryptophyta в массе отмечены *Cryptomonas ovata* Ehr., *C. erosa* Ehr., из Euglenophyta – *Euglena viridis* Ehr., *Euglena caudata* Hubner, *E. variabilis* Klebs, *Lepocinclis ovum* (Ehr.) Mink., из Cyanoprokaryota – *Merismopedia tenuissima* и др. Несмотря на то что эти виды встречаются практически в каждом из водоемов СВБР, результативным для оценки сапробности является сравнительная оценка их количественного развития, поскольку в прудах их численность обычно на порядок-два выше, что также следует рассматривать как чувствительный показатель для оценки экологического состояния водоема.

В водотоках повышение индексов сапробности отмечается в местах усиления воздействия на их самоочистительный потенциал, в частности у населенных пунктов и в зонах снижения скорости течения [5, 7]. В 2017–2018 годах гидробиологические исследования р. Уса с одновременным отбором гидрохимических проб от истока до устья [7] позволили оценить значимость показателей альгоценозов на воздействие точечного источника загрязнения в зоне выпуска очищенных сточных вод населенного пункта. По гидрохимическим показателям превышение ПДК загрязняющих веществ на исследуемом участке установлено не было [5, 7]. Но при оценке сапробности в альгоценозах изменения отмечены. Так, при сравнении с вышележащим участком реки, имеющим β-мезосапробное состояние, ниже по течению от места выпуска сточных вод среди массовых видов отмечено появление показателей β-α-мезосапробной и α-мезосапробной степени органического загрязнения, а также увеличение индекса сапробности. Кроме

того, максимальное для реки число α-мезосапробов и α-мезо-полисапробов в видовом составе отмечено на этом же участке [5].

Заключение

В исследованных водоемах и водотоках СВБР зарегистрирован разнообразный таксономический состав индикаторов сапробности, представленный большим числом видов (не менее 60%) в каждом из водных объектов. Проведенный сапробиологический анализ выявил условия от олигосапробных до α-мезосапробных; по средним величинам индексов состояние всех исследованных водных объектов соответствует β-мезосапробной зоне самоочищения. Комплекс массовых видов на 55–75% состоит из индикаторов сапробности, поэтому сезонная динамика индексов отражает изменения его структуры.

Величины индексов положительно коррелируют с численностью видов индикаторов во всех водных объектах ($R\ 0,50–0,89$). Отмечена положительная корреляционная связь численности отделов Dinophyta и Cyanoprokaryota с величиной БПК₅, в то же время для фитофлагеллят отделов Cryptophyta, Chrysophyta и Euglenophyta зависимость этих показателей может быть как прямой, так и обратной. В ряде водоемов установлена достоверная положительная корреляция численности миксотрофных фитофлагеллят и общей численности бактерий.

В водотоках СВБР индексы сапробности ниже, чем в водоемах. Верхнее течение рек в основном соответствует олигосапробному состоянию, среднее и нижнее – β-мезосапробному. Величины индексов в целом увеличиваются от истока к устью, кроме того, их повышение отмечается у населенных пунктов, в запрудах, в зоне подпора водохранилища, что свидетельствует о процессах интенсификации органического загрязнения и усиления нагрузки на самоочистительный потенциал водотока.

В целом приведенные результаты характеризуют сапробные условия разнотипных эвтрофных водоемов и водотоков, находящихся на охраняемой территории, и поэтому информативны для экологического направления исследований и оценки состояния аналогичных водных объектов в зоне антропогенного воздействия.

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований по теме: «Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна» № 122032500063-0.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Баринаова СС, Медведева ЛА, Анисимова ОВ. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio; 2006.
2. Голубая книга Самарской области: редкие и охраняемые гидробиоценозы. Под ред. ГС Розенберга, СВ Саксонова. Самара: Самарский НЦ РАН; 2007.
3. Горбунов МЮ, Уманская МВ. Абиотические условия в водной толще озер. В кн.: Жариков ВВ, Горбунов МЮ, Уманская МВ, Быкова СВ, Шерышева НГ. Экология сообществ бактерий и свободноживущих инфузорий малых водоемов Самарской Луки. Тольятти: ИЭВБ РАН; 2007. С. 17-41.
4. Горохова ОГ. Характеристика трофического состояния малых водоемов Средне-Волжского биосферного резервата по фитопланктону. Вода: химия и экология; 2013;(11):46-53.
5. Горохова ОГ. Биоиндикационная значимость таксономических и структурных показателей альгоценозов малой реки при оценке точечного источника антропогенного воздействия. Известия СНЦ РАН. 2023;25(5):119-24.
6. Горохова ОГ, Номоконова ВИ. Фитопланктон и условия его развития в болотных озерах юга лесостепного Поволжья (Самарская область). Самарская Лука. 2011;1(20):71-8.
7. Зинченко ТД, Саксонов СВ, Сенатор СА, Минеев АК, Головатюк ЛВ, Горохова ОГ, Болотов СЭ, Курина ЕМ, Абросимова ЭВ, Уманская МВ, Кузнецова РС, Михайлов РА, Попченко ТВ. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги). Самарская Лука. 2019;28(2):156-88.
8. Краснобаев ЮП, Чап ТФ. Средне-Волжский комплексный биосферный резерват. Степной бюллетень. 2009;(26):27-30.
9. Макрушин АВ. Биологический анализ качества вод. Л.: Зоологический ин-т АН СССР; 1974.
10. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука; 1975.
11. Номоконова ВИ. Гидрохимический режим и трофическое состояние озер Самарской Луки и сопредельной территории. Известия СНЦ РАН. 2009;11(1):155-64.
12. Розенберга ГС, Саксонова СВ, ред. Ресурсы экосистем Волжского бассейна. Т. 1. Водные экосистемы. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра; 2008.
13. Розенберг ГС, Паутова ВН, Поспелов АП, Поспелова МД, Номоконова ВИ, Горбунов МЮ, Уманская МВ, Малиновская ЕИ, Горохова ОГ, Быкова СВ, Жариков ВВ, Романова ЕП, Шощин АА. Комплексная характеристика некоторых водоемов юго-восточной части Национального парка «Самарская Лука». Самарская Лука. 2006;(18):38-96.
14. Окслюк ОП, Жукинский ВН, Брагинский ЛП, Линник ПН, Кузьменко МИ, Кленус ВГ. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. Гидробиологический журнал. 1993;29(4):62-77.
15. Поспелов АП, Горбунов МЮ, Уманская МВ, Поспелова МД. Характеристика гидрохимического режима водоемов Самарской Луки. Известия СНЦ РАН. 2000;2(2):216-23.
16. Уманская МВ. Лимнологические исследования в юго-восточной части Самарской Луки. Особенности развития бактериопланктона. Известия СНЦ РАН. 2002;4(2):290-99.
17. Уманская МВ. Бактериопланктон разнотипных водоемов Самарской области. В кн.: Жариков ВВ, Горбунов МЮ, Быкова СВ, Уманская МВ, Тарасова НГ, Буркова ТН, Шерышева НГ, Ротарь ЮМ. Протисты и бактерии озер Самарской области. Тольятти; 2009. С. 61-77.
18. Яценко-Степанова ТН, Немцева НВ, Шабанов СВ. Альгофлора Оренбуржья. Екатеринбург: УрО РАН; 2005.

Общий список литературы/References

1. Barinova SS, Medvedeva LA, Anisimova OV. [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel'-Aviv: PiliesStudio; 2006. (In Russ.)
2. Golubaya Kniga Samarskoy Oblasti: Redkiye i Okhraniayemye Gidrobiotsenozy. Ed by Rosenberg GS, Saksonov SV. Samara: Samarskiy NTS RAN; 2007. (In Russ.)
3. Gorbunov MYu, Umanskaya MV. [Abiotic conditions in the water column of lakes]. In: Zharikov VV, ed. Ekologiya Soobshchestv Bakteriy i Svoobodnozhivushchikh Infuzoriy Malykh Vodoyemov Samarskoy Luki. Togliatti: IEVB RAN; 2007. P. 17-41. (In Russ.)
4. Gorokhova OG. [Characteristics of trophic status of small reservoirs in the middle volga biosphere reserve using phytoplankton]. Voda Khimiya i Ekologiya; 2013;(11):46-53. (In Russ.)
5. Gorokhova OG. [Bioindicative value of taxonomic and structural indicators of plankton algae communities for assessing a point source of anthropogenic impact]. Izvestiya SNTs RAN. 2023;25(5):119-24. (In Russ.)
6. Gorokhova OG, Nomokonova VI. [Phytoplankton and condition of its development in marsh lakes of

- the south forest-steppe Povolzhye (Samara Region)]. Samarskaya Luka. 2011;1(20):71-8. (In Russ.)
7. Zinchenko TD, Saksonov SV, Senator SA, Mineyev AK, Golovatiuk LV, Gorokhova OG, Bolotov SYe, Kurina YeM, Abrosimova EV, Umanskaya MV, Kuznetsova RS, Mihaylov RA, Popchenko TV. [Ecological passport of Usa River (a right bank tributary of Volga)]. Samarskaya Luka 2019;28(2):156-88. (In Russ.)
 8. Krasnobaev YuP, Chap TF. [Middle Volga Biosphere Reserve complex]. Steynoy Biulleten. 2009;(26):27-30. (In Russ.)
 9. Makrushin AV. Biologicheskiy Analiz Kachestva Vod. [Biological Analysis of Water Quality]. Leningrad: Zoologicheskiy Institut AN SSSR\$ 1974. (In Russ.)
 10. Metodika Izucheniya Biogeotsenozov Vnutrennikh Vodoyemov. Moscow: Nauka; 1975.
 11. Nomokonova VI. [Hydrochemical regimen and trophic state of lakes in Samarskaya Luka and adjacent territory]. Izvestiya SNTs RAN. 2009;11(1):155-64. (In Russ.)
 12. Rozenberg GS, Saksonov SV, eds. Resursy Ekosistem Volzhskogo Basseyna Tom 1. Vodnye Ekosistemy. Togliatti: Kassandra; 2008.
 13. Rozenberg GS, Pautova VN, Pospelov AP, Pospelova MD, Nomokonova VI, Gorbunov MYu, Umanskaya MV, Malinovskaya YeI, Gorokhova OG, Bykova SV, Zharikov VV, Romanova YeP, Shoshin AA. [Comprehensive assessment of water bodies in the southeast of the national park Samarskaya Luka]. Samarskaya Luka. 2006;(18):38-96. (In Russ.)
 14. Oksiyuk OP, Zhukinskiy VN, Braginskiy LP, Linnik PN, Kuz'menko MI, Klenus VG. [Comprehensive ecological classification of the quality of terrestrial surface waters]. Gidrobiologicheskiy Zhurnal. 1993;29(4):62-77. (In Russ.)
 15. Pospelov AP, Gorbunov MYu, Umanskaya MV, Pospelova MD. [Hydrochemical regimen characteristics of water bodies of the national park Samarskaya Luka]. Izvestiya SNTs RAN. 2000;2(2):216-23. (In Russ.)
 16. Umanskaya MV. [Limnological research in the southeast part of Samarskaya Luka. Characteristics of bacterioplankton development]. Izvestiya SNTs RAN. 2002;4(2):290-9. (In Russ.)
 17. Umanskaya MV. [Bacterioplankton of different types in reservoirs of Samara Region]. In: Zharikov VV, Gorbunov MYu, Bykova SV, Umanskaya MV, Tarasova NG, Burkova TN, Sherysheva NG, Rotar' YuM. Protisty i Bakterii Ozer Samarskoy Oblasti. Togliatti; 2009. P. 61-77. (In Russ.)
 18. Yatsenko-Stepanova TN, Nemtseva NV, Shabanov SV. [Algae-vegetation of the Orenburg region]. Yekaterinburg: UrO RAN; 2005. (In Russ.)
 19. Abdelfattah A, Ali SS, Ramadan H, El-Aswar EI, Eltawab R, Ho SH, Elsamahy T, Li S, El-Sheekh MM, Schagerl M. Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. Environ Sci Ecotechnol. 2022;13:100-205.
 20. Bird DF, Kalf J. Bacterial grazing by planktonic lake algae. Science. 1986; 231:493-5.
 21. Dixit SS, Smol JP, Kingston JC, Charles DF. Diatoms: Powerful indicators of environmental change. Environ Sci Technol. 1992;26:23-3.
 22. Flynn KJ, Mitra A, Anestis K, Anschutz AA, Calbet A, Ferreira GD, Gypens N, Hansen PJ, John U, Martin JL, Mansour JS, Maselli M, Medić N, Norlin A, Not F, Pitta P, Romano F, Saiz E, Schneider LK, Stolte W, Traboni C. Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? J Plankton Res. 2019;41(4):375-91.
 23. Gorokhova OG, Zinchenko TD. Phytoplankton of the Usa River (Kuibyshev Reservoir Basin). Biology Bulletin. 2019;46(10):1382-9.
 24. Gorokhova OG. Vertical distribution and migration of algae under thermal stratification in small water bodies of the forest steppe Volga Region. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2021;(818):012013.
 25. Irvine KN, Murphy TP. Assessment of eutrophication and phytoplankton community impairment in the Buffalo River Area of Concern. J Great Lakes Res. 2009;35(1):83-93.
 26. Isaksson A. Phagotrophic phytoflagellates in lakes: A literature review. Arch Hydrobiol Spec Issues Adv Limnol. 1998;51:63-90.
 27. Nygaard K, Tobiesen A. Bacterivory in algae: A survival strategy during nutrient limitation. Limnol Oceanogr. 1993;38:273-9.
 28. Palmer CM. A composite rating of algae tolerating organic pollution. J Phycol. 1969;5(1):78-82.
 29. Peltomaa ET, Taipale S. Osmotrophic glucose and leucine assimilation and its impact on EPA and DHA content in algae. PeerJ. 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.8363>.
 30. Reynolds CS. The Ecology of Phytoplankton. New York: Cambridge University Press; 2006.
 31. Round FE. Diatoms in river water-monitoring studies. J App Phycol. 1991;3:129-45.
 32. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. Arch Hydrobiol Ergebn Limnol. 1973;7:1-218.
 33. Urabe J, Gurung TB, Yoshida T, Sekino T, Nakanishi M. Diel changes in phagotrophy by Cryptomonas in Lake Biwa. Limnol Oceanogr. 2000;45:1558-63.
 34. Wegl R. Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser; 1983.

СТРОЕНИЕ КРОНЫ У МОЛОДЫХ ОСОБЕЙ ДУБА *QUERCUS ROBUR* L. В РАЗЛИЧНЫХ СООБЩЕСТВАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ НИЖЕГОРОДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

М.Н. Стаменов

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
Тольятти, Россия

Эл. почта: mslv-eiksb@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 26.08.2024; принята к печати 24.11.2024

Исследовали габитус молодых особей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в сообществах подзоны южной тайги в Нижегородской области. Для анализа выбирали особи, произрастающие в поймах и на надпойменных террасах рек в следующих типах местообитаний: пойменные луга и дубравы, вырубки, мелколиственные леса, хвойные леса с примесью широколиственных и/или мелколиственных видов. В каждом типе местообитаний выделяли набор элементов горизонтальной мозаики по уровню освещенности: от сомкнутого полога до крупных полян или лугов. Исследовали особи имматурного, виргинильного и молодого генеративного онтогенетических состояний. Анализировали особенности конфигурации, нарастания и ветвления ствола, ветвей I и II порядков. У ряда особей измеряли длины элементарных побегов в составе ствола и ветвей. Было установлено, что разнообразие вариантов организации габитуса особей сводится к четырем типам, которые были обозначены как архитектурные типы (АТ). АТ 1 – ортотропный ствол и преимущественно восходящие ветви. АТ 2 – ортотропный ствол и преимущественно плагиотропные ветви. АТ 3 – ствол отклоняется от ортотропного направления роста, ветви имеют разное направление роста в зависимости от того, на прямом или выпуклом участке ствола они расположены. АТ 4 – ствол распадается на сложную ложнодихотомическую систему из ортотропных и/или плагиотропных осей замещения. Каждый АТ реализуется через набор вариантов, которые различаются по особенностям ветвления и взаиморасположения осей разного направления роста. На пойменных лугах произрастают только особи АТ 1, в остальных местообитаниях речных пойм и надпойменных террас преобладают особи АТ 1 и 2. Организация основных скелетных осей кроны и интенсивность их ветвления у особей, произрастающих на пойменных лугах, подтверждает с биоморфологической точки зрения факт того, что поймы рек являются наиболее благоприятными местообитаниями для расселения *Q. robur* в северной части ареала.

Ключевые слова: биоморфология, габитус, *Quercus robur* L., Нижегородская область, южная тайга.

CROWN STRUCTURE OF YOUNG *QUERCUS ROBUR* L. TREES IN DIFFERENT COMMUNITIES OF TRANS-VOLGA SOUTH TAIGA AROUND NIZHNIY NOVGOROD

M.N. Stamenov

Institute of Ecology of Volga Basin, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Togliatti, Russia

Email: mslv-eiksb@inbox.ru

Habitus features of the young trees of the oak *Quercus robur* L. were examined in the plant communities of south taiga in Nizhniy Novgorod Region. Chosen for examination were the trees that grow in flood lands and in terrains above them along rivers, including the following habitat types: flood-land meadows and oak woods, glades, and small-leaved and coniferous forests contaminated with broad-leaved plants. For each type, the horizontal mosaics patterns that were distinguished ranged from closed canopy to large glades or meadows. The examined trees were immature, virginal and young reproductive according to their developmental stages. The patterns of configuration, growth and branching of stem and first- and second-order branches were analyzed. In some trees, the lengths of the elementary sprouts of stems and branches were also measured. It has been found that the diversity of the patterns of habitus organization may be categorized into four architectural types (AT). AT1: orthotropic stem with predominantly ascending branches. AT2: orthotropic stem with predominantly plagiotropic branches. AT3: stem deviates from orthotropy, and branches grow in different directions depending on of whether they sprout from the straight or bulged parts of stem. AT4: stem splits to form an intricate pseudo-dichotomous system comprising orthotropic and/or plagiotropic substitution axes. Each AT comprises a set of variants differing in the specificities of branching and of relative directions of growth axes. In flood-land meadows, only AT1-type trees were found. In all other habitats the predominant types were AT1 and AT2. The organization of the principal axes of crown and the rate of their branching in the oak trees that grow in flood-land meadows confirm, from the biomorphological standpoint, the fact that flood-lands at rivers are the most favorable habitats of *Q. robur* in the northern part of its areal.

Keywords: biomorphology, habitus, *Quercus robur* L., Nizhniy Novgorod Redion, south taiga.

Введение

В последние десятилетия в отечественной и зарубежной науке получили широкое распространение исследования габитуса растений на различных структурных уровнях его организации [6, 15, 20, 24, 28]. Данное направление имеет большое общебиологическое значение, поскольку в его рамках можно составлять классификации жизненных форм, сопоставлять направления эволюционных преобразований у систематических единиц и групп жизненных форм, а также оценивать адаптивный потенциал видов [4]. При рассмотрении особи растения как системы иерархически организованных элементов [5, 7] можно установить, какого рода морфофизиологический отклик демонстрируют элементы соответствующего иерархического уровня в определенных условиях среды. Очевидно, что у такой сложноорганизованной и долгоживущей жизненной формы, как дерево, потенциально может наблюдаться широкий диапазон изменчивости форм роста в зависимости от экологических условий [12, 17, 18]. Лесоводы давно установили, что дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) характеризуется большим разнообразием вариантов строения кроны, что связано с разнообразием условий и местообитаний в пределах ареала вида [23]. Чтобы представлять пределы адап-

тационных возможностей *Q. robur*, особенно важно анализировать организацию его габитуса в краевых частях ареала. В частности, к одной из таких частей относится Нижегородское Заволжье. В связи с этим целью данной работы является описание и систематизация вариантов габитуса у молодых особей *Q. robur* с точки зрения современных представлений об архитектуре и конструктивной организации побеговых систем деревьев в сообществах южной тайги Нижегородской области.

Материалы и методы

Исследования проводили в заволжской части Нижегородской области (далее в тексте – Заволжье), в подзоне южной тайги. Рельеф района исследований представлен низкими слабовсхолмленными равнинами (высотой 80–100 м), сложенными песчаными, супесчаными и суглинистыми отложениями [14]. Климат умеренно-континентальный со средними температурами января и июля $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднегодовым количеством осадков 600–680 мм [14]. Почвы района исследований дерново-подзолистые на надпойменных террасах и пойменные кислые в пойме р. Ветлуга [11]. Согласно ботанико-географическому районированию Горьковской области [1], район исследований хвойно-



Рис. 1. Территория исследований. Обозначения локалитетов см. в тексте

лесной. В его пределах ценопопуляции *Q. robur* исследованы в Керженецко-Людновском борово-болотном подрайоне, Чкаловско-Семеновском еловом подрайоне и Ветлужско-Устанском боровом подрайоне.

Ценопопуляции *Q. robur* были исследованы в локалитетах (рис. 1), охарактеризованных ниже (приведены координаты условного центра локалитета).

Для каждого локалитета приведен перечень местообитаний. Местообитания выделены с учетом положения в рельефе, наличия или отсутствия яруса древостоя, породного состава яруса древостоя, наличия и породного состава яруса подлеска, видового состава травяно-кустарничкового яруса.

1) Городской округ Бор. Лесные массивы и луга в 1–4 км восточнее и юго-восточнее с. Линда (56.611102, 44.145148). Далее в тексте – Л.

а) березово-елово-сосновые леса кустарничковые с участками черноольховых низинных болот на надпойменных террасах р. Линда;

б) опушки пойменных дубрав;

в) пойменный луг, зарастающий подростом деревьев и кустарниками.

2) Городской округ Семеновский. Лесные массивы в 1–4 км северо-западнее д. Озеро (56.977355, 44.661487). Далее в тексте – О.

а) березово-черноольховое низинное болото;

б) березо-ельники кислично-чернично-неморальные с окнами;

в) сосняки бруснично-сфагновые с *Picea abies* (L.) H. Karst.;

г) сосняки кустарничковые (чернично-брусничные) с *P. abies*, *Tilia cordata* Mill. и *Juniperus communis* L.;

Местообитания а–г расположены на надпойменных террасах р. Керженец.

д) березо-осинники неморальные с многочисленным подростом *Q. robur* в пойме р. Керженец.

3) Краснобаковский район, массив лесов и лугов между р. Ветлуга и о. п. 573 км (57.189057, 45.145220). Далее в тексте – В. Массив лесов в 4–6 км восточнее д. Шеманиха (57.306002, 45.461034). Далее в тексте – Ш.

а) Пойменные луга, зарастающие подростом деревьев и кустарником;

б) Осинники ландышевые на пойменных гривах;

в) Березо-дубняк ландышево-разнотравный.

Местообитания а–в расположены в пойме р. Ветлуга.

г) Вырубки на месте сосновых и елово-сосновых лесов, местами заросшие молодым березняком или сосняком (до 5–6 м) с высокой сомкнутостью полога;

д) Сосняки чернично-брусничные с *P. abies*;

е) Сосняки ландышевые с *Betula pendula* Roth и *Q. robur*.

Местообитания г–е расположены на надпойменных террасах р. Ветлуга.

4) Уренский район, массив лесов на надпойменной террасе р. Уста в 2–4 км южнее д. Минеево (57.342507, 45.532016) (далее в тексте – М) (рис. 1).

а) Сосняки с *P. abies* или с *P. abies* и *Abies sibirica* Ledeb. чернично-брусничные.

Для удобства анализа местообитания были объединены в группы в зависимости от положения в рельефе – в поймах рек или на надпойменных террасах. В каждой группе были выделены следующие элементы горизонтальной мозаики:

1. Сомкнутый полог с просветами в кронах не более 1–2 м.

2. Окна в древостое шириной более 5–10 м.

3. Опушки лесов.

4. Заросшие низким сомкнутым молодым древостоем («карандашником») луга и вырубки.

5. Опушки «карандашников».

6. Участки лугов в значительном отдалении от деревьев (далее в тексте – «луга»).

Учет особей проводили маршрутным способом в полосе 30 м с двух сторон от пути следования исследователя. По используемой в популяционно-онтогенетических исследованиях деревьев методике [26] у особей устанавливали онтогенетическое состояние и жизнеспособность. Были исследованы особи следующих онтогенетических состояний:

1) Иматурное второй подгруппы. Календарный возраст под пологом леса и в окнах – от 8–10 до 20–35 лет. Высота – 1,5–2,5 м.

2) Виргинильное состояние первой и второй подгрупп. Календарный возраст под пологом леса и в окнах – 25–35 лет, на опушках, вырубках и пойменных лугах – 10–15 лет. Высота особей – 3–7 м.

3) Молодое генеративное состояние. Календарный возраст под пологом леса и в окнах – 30–40 лет, на опушках – 20–35 лет, на вырубках и пойменных лугах – 15–25 лет. Высота особей – 5–15 м под пологом, в окнах и на опушках и 5–7 м на вырубках и пойменных лугах.

Всего исследовано 620 особей (табл. 1).

При описании габитуса *Q. robur* обращали внимание прежде всего на основные функциональные оси в составе кроны – ствол (ось I видимого порядка), наиболее крупные ветви, отходящие от ствола (оси II видимого порядка, или ветви I порядка) и наиболее развитые ветви, отходящие от ветвей от ствола (оси III видимого порядка, или ветви II порядка). У этих осей отмечали направление роста, нарастание, особенности ветвления, регулярность раздвоения. Также анализировали пространственные отношения как между стволом и ветвями, так и между вертикальными зонами в кроне, образованными различными ти-

Распределение исследованных особей *Q. robur* по местообитаниям

| Группы сообществ | Локалитеты | | | | |
|------------------|------------|-----|-----|----|----|
| | Л | О | В | Ш | М |
| П | 22 | 25 | 93 | – | |
| Т | 96 | 126 | 163 | 36 | 59 |

Пояснения: Обозначения локалитетов см. в тексте. П и Т – местообитания в поймах рек и на их надпойменных террасах соответственно.

пами ветвей. Выборочно измеряли длины нескольких последовательных годовых побегов в составе ствола и ветвей I–II порядков.

Результаты и обсуждение

Руководствуясь классическими представлениями о дереве как о жизненной форме с длительно функционирующими надземными скелетными осями [20], формирование габитуса у молодых особей *Q. robur* мы рассматриваем прежде всего с точки зрения отношений между основными осями, определяющими конструкцию кроны [13, 25]. На уровне габитуса древесного растения поливариантность онтогенеза [10] выражается в том, что особь может осваивать вертикальное и горизонтальное пространство различными способами. Для их систематизации мы разработали типологию габитусов с выделением так называемого архитектурного типа (АТ) [21, 22]. По мере дальнейшего накопления данных об организации кроны *Q. robur* в различных природных зонах и физико-географических провинциях типология постепенно модифицируется. Каждый АТ характеризуется набором вариантов, которые различаются между собой по особенностям конфигурации и нарастания отдельных фрагментов ствола и крупных ветвей, а у АТ 1 – также по особенностям ветвления основных скелетных осей.

В местообитаниях южной тайги Нижегородской области нами выявлен следующий набор АТ:

1. Крона особи образована ортотропным стволом с преимущественно восходящими крупными ветвями. Углы, под которыми восходящие ветви отходят от ствола, изменяются в широких пределах, но уже в базальной части ветвь начинает выпрямляться, а в дистальной части растет под углом менее 35–45° к стволу. В нижней части ствола (до 1/3 от его высоты) от ствола отходят либо плагиотропные ветви, которые могут сильно варьировать по силе развития, либо мелкие восходящие ветви. Ствол и большинство восходящих ветвей однократно или два-три раза разделяются надвое или на большее число дочерних осей вильчатыми структурами (1а на рис. 2).

Часть образовавшихся в результате раздвоения осей в ходе дальнейшего развития нивелируются и слабо отличаются от ветвей I или II порядков. Если обе до-

черние оси развиваются сходным образом, то они в равной мере принимают на себя функцию ствола или ветви I порядка. Поскольку между разделениями последовательность годовых побегов развивается как единая ось, в кроне в целом сохраняется соподчинение между стволом и ветвями разных порядков. Данный тип представлен серией вариантов, различающихся по регулярности ветвления ствола и ветвей от ствола, числу боковых побегов и степени их дифференцировки и нарастанию осей между вильчатыми структурами. Крайние варианты серии:

а) На стволе регулярно образуются ярусы из двух-четырех ветвей. Они формируются в верхней части материнского годовичного побега (1а на рис. 2). Для годовых побегов в верхней части ствола характерно разнообразие вариантов ветвления: множественные (до 10–15) относительно короткие (менее 10 см) боковые побеги или несколько длинных боковых побегов в верхней части материнского побега (1–3 на рис. 3). Начиная с середины ствола ветви могут отходить под углом 20–30°, принимая в дальнейшем близкое к вертикальному направление роста. Ветви I порядка также регулярно ветвятся, но образуют меньше боковых побегов (2 и 4 на рис. 3). На 2–3 ветвях I порядка развиваются крупные ветви II порядка. Оси между вильчатыми структурами нарастают неустойчиво-моноподiallyно. В составе ствола регулярно образуются годовичные побеги, состоящие из двух сезонных приростов. Длина весенних приростов обычно составляет 20–30 см, реже 7–10 или 30–50 см. Летние приросты (Ивановы побеги), как правило, имеют длину 30–60 см. В составе ветвей I порядка годовичные побеги с двумя сезонными приростами формируются главным образом на ортотропных участках ветвей, особенно в средней и верхней частях кроны. При этом весенние приросты имеют длину 20–35 см, а летние – 20–40 см. В остальных частях ветвей длина годовых побегов составляет 10–30 см. Годовичные побеги в составе ветвей II и более высоких порядков обычно не превышают 10–20 см в длину.

б) Ярус ветвей образуется только на каждом третьем-четвертом годовичном побеге ствола (1б на рис. 2). Ярус образован одной ветвью. Ветви I порядка ветвятся еще реже, чем ствол. На годовых побегах как ствола, так и ветвей распускается обычно не более

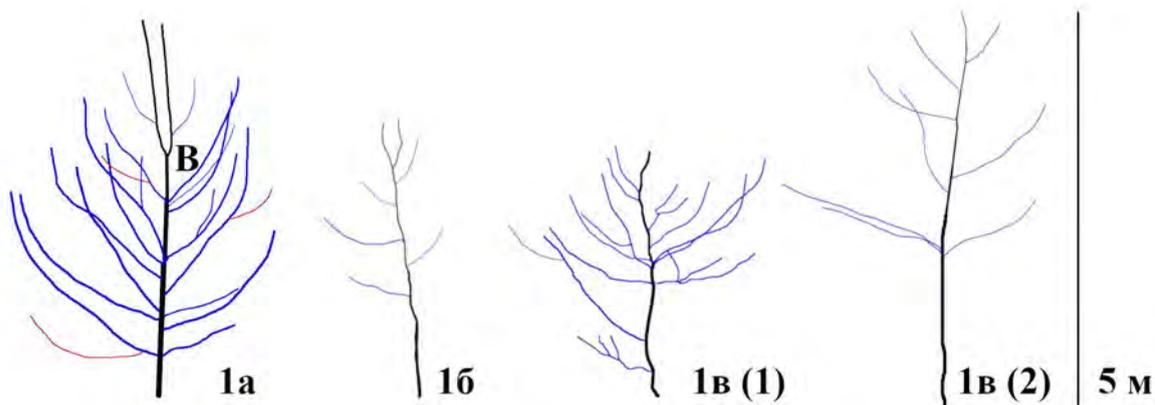


Рис. 2. Варианты архитектурного типа 1 у особей *Q. robur*. 1а и 1б – крайние варианты типа, 1в (1) и 1в (2) – промежуточные варианты типа. В – вильчатая структура, разделяющая ствол. Черным цветом показан ствол, синим цветом – ветви I порядка, красным цветом – ветви II порядка. Строение кроны показано на примере виргинильных и молодых генеративных особей

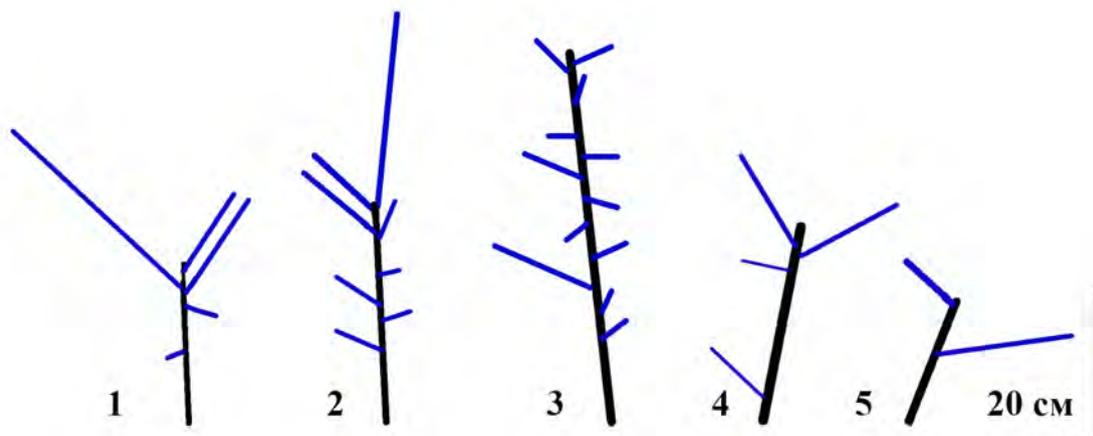


Рис. 3. Варианты ветвления побегов в составе ствола и крупных ветвей I порядка у особей *Q. robur*. Черным цветом показан материнский побег, синим цветом – боковые побеги. Показаны только весенние приросты. Цифровые обозначения см. в тексте

пяти почек (4 и 5 на рис. 3). Оси I–II порядков часто перевершиниваются, за счет чего имеют волнообразный или S-образный контур. Длина годовичных побегов в составе ствола составляет 10–25 см (единичные побеги достигают длины 35–40 см), в составе ветвей I порядка – 8–20 см. Ивановы побеги практически не образуются.

Между данными крайними вариантами выражен широкий набор переходов (1в (1) и 1в (2) на рис. 2). В частности, они представлены вариантами, у которых на стволе регулярно образуются ярусы с единственной ветвью, либо, наоборот, спорадически формируются ярусы с несколькими ветвями. Также у переходных вариантов могут различаться по нарастанию ствол и ветви и т. п.

По мере прохождения онтогенеза, от имматурного к молодому генеративному состоянию, у особей в условиях свободного роста и на опушках, в «карандашниках» и окнах растущие по диагонали ветви выпрямляются, а вновь образующиеся ветви растут в близком к вертикальному направлению. Наиболее интенсивно ветвящиеся побеговые системы образуются в виргинильном состоянии второй подгруппы и в молодом генеративном состоянии. Под пологом по мере приближения к генеративному периоду онтогенеза на стволе также образуются ветви, отходящие под острым углом с регулярным ветвлением, а ствол практически прекращает искривляться.

2. Крона особи, как и у АТ 1, образована ортотропным стволом, но ведущую роль в захвате гори-

зонтального пространства играют плагиотропные ветви. Дистальная часть ветви выпрямляется либо поникает, отклоняясь на 30–40° по диагонали вверх или вниз. Годичные побеги в их составе образуют относительно немного боковых побегов (обычно до пяти) (4 и 5 на рис. 3). Варианты данного АТ различаются по приуроченности плагиотропных ветвей к определенной части ствола, по направлению роста дистальной части ветви и по распространенности симподиев в составе ветви. Выделены следующие крайние варианты:

а) От половины до 2/3 высоты ствола занимают плагиотропные ветви, которые выпрямляются либо поникают в дистальной части (2а (1) и 2а (2) на рис. 4). Выше данной зоны ветви растут по диагонали, как у типа 1, при этом угол отхождения ветвей может составлять более 50°.

б) Крона образована только плагиотропными ветвями (2б (1) и 2б (2) на рис. 4).

У промежуточных вариантов восходящие и плагиотропные ветви перемежаются на стволе в различных сочетаниях (2в (1) и 2в (2) на рис. 4).

У всех вариантов АТ 2 побеги в составе ствола и ветвей I порядка редко превышают 30 см и 15 см соответственно. Образование Ивановых побегов для данного АТ нехарактерно.

В ходе онтогенеза дистальные части ветвей либо отклоняются вверх под небольшим углом, либо поникают. Вновь образующиеся ветви могут сразу расти под небольшим углом вниз к земле.

3. Ствол особи отклоняется от ортотропного направления роста и переходит к росту по диагонали, а в дальнейшем, в ряде случаев, и по горизонтали (3 (1) и 3 (2) на рис. 5). Вместе с этим изменяется и направление роста ветвей I порядка. На ортотропном участке ствола снизу вверх ветви отходят от ствола под углом 60–90°, при этом угол отхождения постепенно умень-

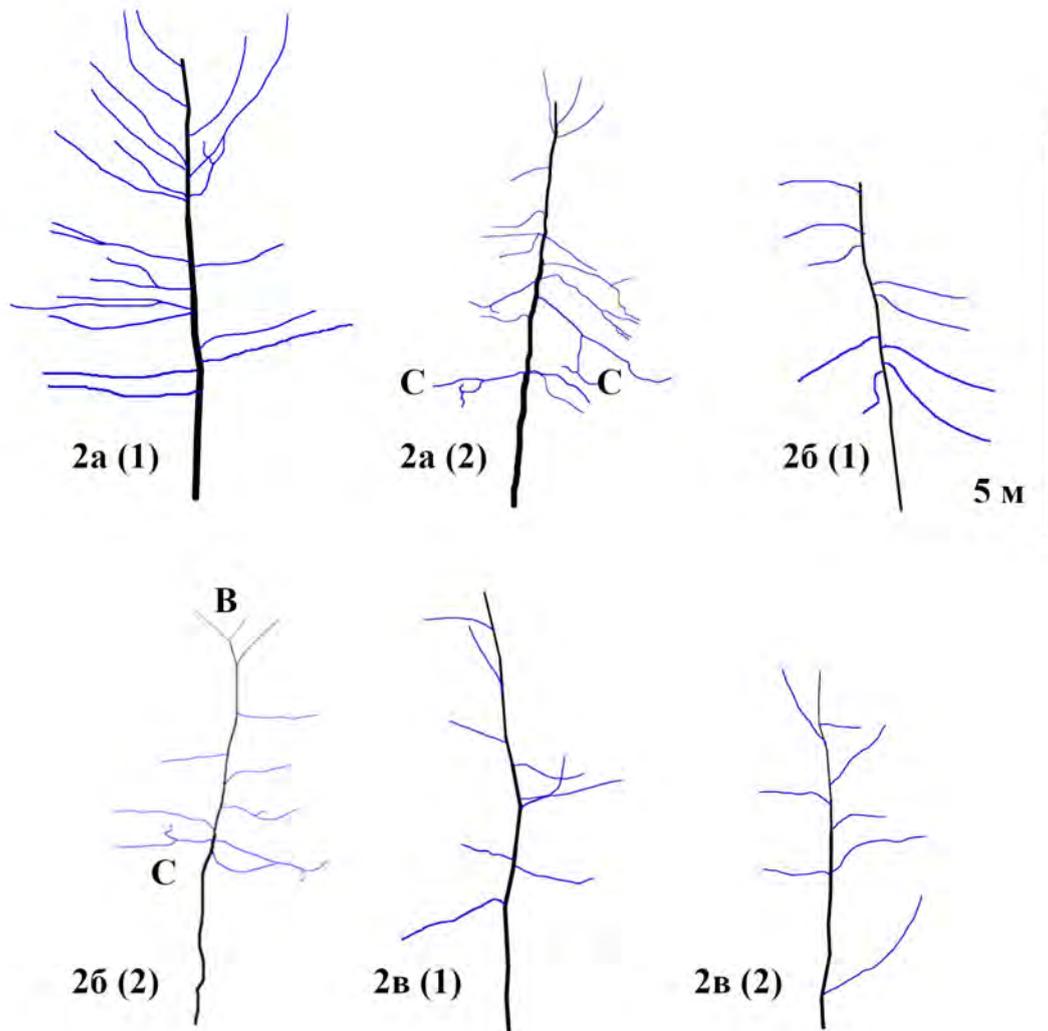


Рис. 4. Варианты архитектурного типа 2 у особей *Q. robur*. С – сложная ложнодихотомическая система. Остальные обозначения, как на рис. 2

шается в направлении вершины ствола. В участке перегиба ствола и его перехода к росту по диагонали, на «внешней» стороне ствола, угол отхождения ветвей существенно уменьшается. Если ствол принимает близкое к плагиотропному направление роста, то ветви растут практически вертикально. На «внутренней» стороне перегиба ветви отходят от ствола под тупым углом. Крайним вариантом данного АТ выступает конструкция, у которой дистальный отрезок ствола растет горизонтально.

По длинам годовичных побегов, числу сезонных приростов и особенностям ветвления ствола и ветвей I порядка АТ 2 и 3 сходны (4 и 5 на рис. 3).

У типов 2 и 3 ствол может изредка раздваиваться, но образование вильчатых структур остается единичным актом, не меняющим принципиально способ освоения особью окружающего пространства. При этом вильчатая структура может принимать не только V-образную, но и L-образную форму (2б (2) на рис. 4). Таким образом, у особи в целом сохраняется иерархический план организации ствола, при котором ствол остается главным «организатором» осей кроны [13, 25].

4. Ствол особи многократно и последовательно разделяется вильчатыми структурами по ложнодихотомическому типу. В отличие от предыдущих типов, в этом случае раздвоения осей носят системный характер и повторяются более пяти раз. Ложнодихотомические системы осей играют основную роль в захвате горизонтального пространства. Обычно разделение

ствола начинается в средней части кроны по ее высоте. Разделение осей сопровождается количественным и качественным изменением архитектуры дочерних осей в составе вильчатых структур. В частности, годовичные побеги на том участке оси, который развивается после 3–4-го разделения, могут не превышать 5–10 см и почти не образуют боковых побегов. При этом значительные по протяженности отрезки осей нарастают симподиально. С геометрической точки зрения данный тип характеризуется большим разнообразием вариантов, поскольку ложнодихотомические структуры могут принимать воронковидную, зонтиковидную, флаговидную и прочие формы. В связи с этим крайние варианты ряда были выделены по преобладающему направлению роста осей замещения: ортотропному (4а на рис. 5) или плагиотропному (4б на рис. 5). Первый вариант соответствует реализации элементов архитектурной модели Leeuwenberg [28], а второй – модели Kogiba [28]. Утрата ствола в качестве функционально главной оси и его замещение качественно отличающимися осями свидетельствует о переходе особи к полиархическому плану организации [13, 25].

Плагиотропный отрезок ствола у типа 3 и плагиотропную систему осей у варианта «б» типа 4 придает кроне особи в разной степени выраженную зонтиковидную форму [27].

Чем раньше в онтогенезе происходит отклонение от ортотропного роста или формирование сложной ложнодихотомической структуры вместо ствола у типов

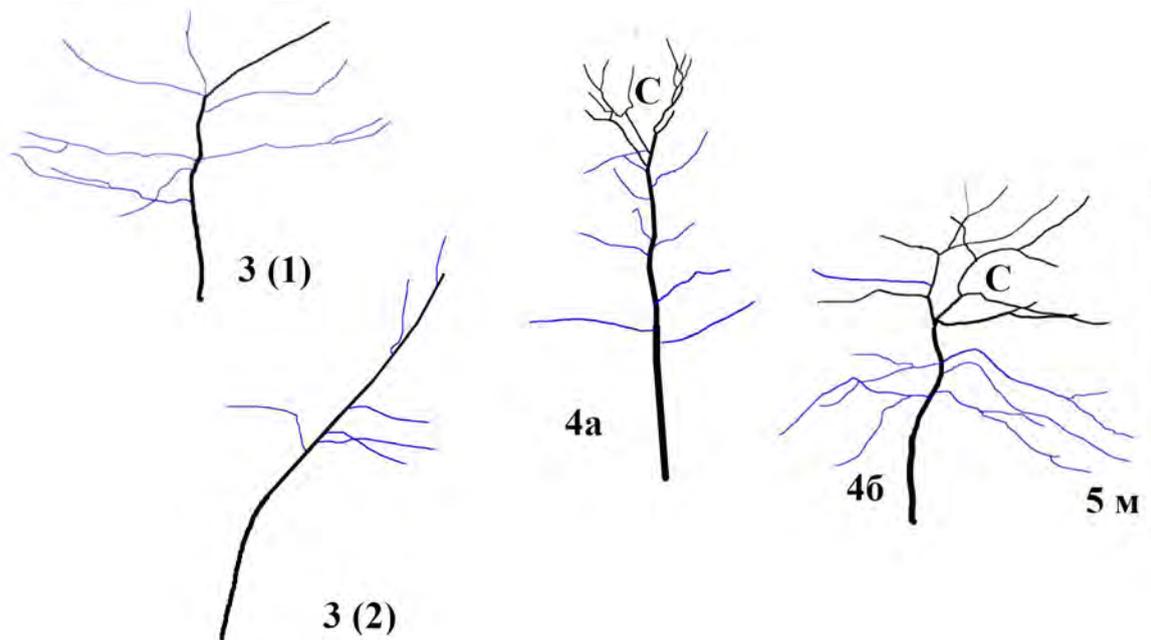


Рис. 5. Варианты архитектурных типов 3 и 4 у особей *Quercus robur*. 3 (1) и 3 (2) – варианты типа 3, 4а и 4б – варианты типа 4. Остальные обозначения, как на рис. 2 и 4

3 и 4 соответственно, тем ниже вероятность того, что особь достигнет генеративного периода онтогенеза и сможет выйти за пределы яруса подлеска.

На пойменных лугах в локалитетах Л и В (включая полностью открытые участки и заросли кустарников) представлены только такие особи *Q. robur*, конструкция которых соответствует варианту «а» типа 1. В окнах и на опушках пойменных дубрав и березняков (локалитеты Л и В) преобладают особи промежуточных вариантов типа 1. Под пологом пойменных осинников (локалитет О) примерно в равных долях представлены особи промежуточных вариантов АТ 1 и особи, принадлежащие к АТ 2. Однако в более разреженных осинниках, растущих по гривам поймы р. Ветлуга, преобладают особи промежуточных вариантов АТ 1. Во всех элементах мозаики с той или иной степенью затененности (кроме сомкнутых парцелл) особи варианта «а» типа 1 встречаются единично.

Ранее исследователи неоднократно отмечали, что свободнорастущие, ничем не затеняемые особи деревьев осваивают пространство вокруг ствола за счет восходящих, растущих под острым углом ветвей. Это приводит к формированию различных вариантов яйцевидной или конической кроны [2, 9, 30]. У *Q. robur* в качестве одной из причин роста ветвей вверх называется уход от затенения высоким травостоем пойменных лугов [9]. Наши наблюдения показывают, что и при боковом затенении в окнах мелколиственных пойменных лесов особи *Q. robur* сохраняют такую же конструкцию на основе ортотропного ствола и восходящих ветвей. Структурные отличия между свободнорастущими особями, с одной стороны, и «оконными» и «опушечными» особями, с другой стороны, в этом случае носят в большей степени количественный характер (регулярность ветвления ствола и крупных ветвей, число ветвей в ярусе, число короткоживущих

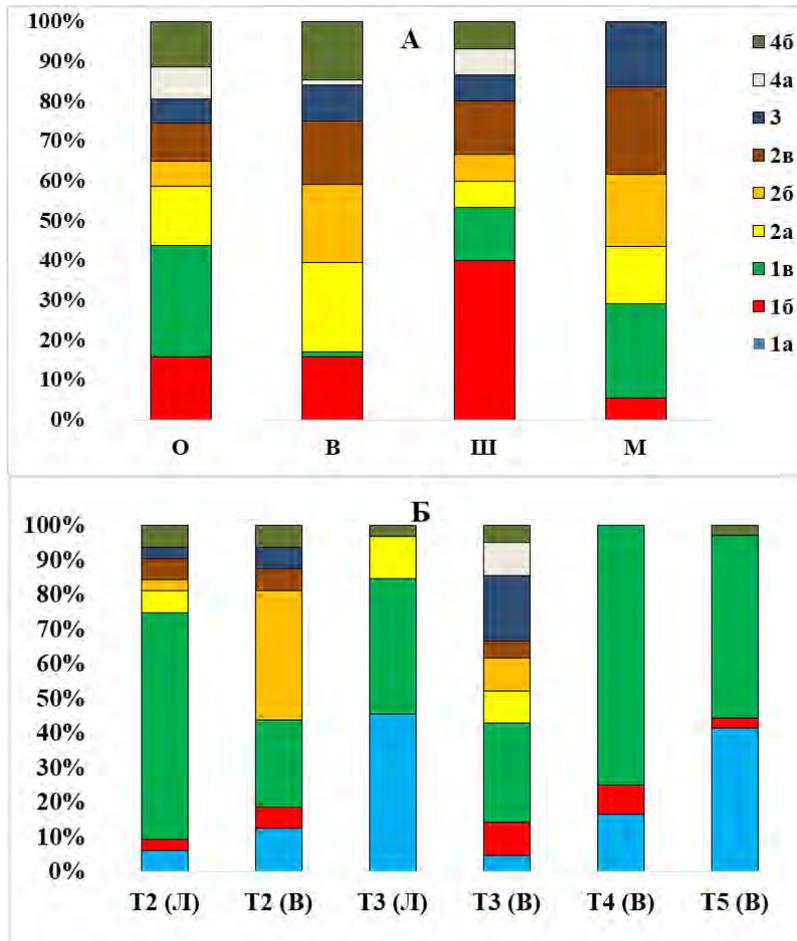


Рис. 6. Распределение архитектурных типов *Q. robur* по элементам горизонтальной мозаики местообитаний надпойменных террас. Показаны только такие элементы, в которых отмечено 10 и более особей *Q. robur*. А – под пологом сомкнутого древостоя, Б – в элементах оконной мозаики и на опушках древостоя разного возраста. О, В, Ш, М – локалитеты. Т2–Т5 – элементы горизонтальной мозаики. Обозначения локалитетов и элементов горизонтальной мозаики см. в тексте и в подписи к таблице. 1в и 2в – группы «промежуточных» вариантов архитектурных типов

боковых побегов на ветвях и т. п.). При более сильном затенении, в осиннике без крупных окон, наблюдается и качественный переход к формированию ветвей другой стратегии, что будет детальнее рассмотрено далее.

В лесах и на вырубках на надпойменных террасах архитектурные типы и их варианты распределены достаточно неравномерно (рис. 6).

В сомкнутых парцеллах елово-сосновых лесов с примесью мелколиственных видов преобладают особи типов 1 и 2. Между локалитетами наблюдаются существенные различия по доле особей вариантов «б» и «в» типа 1 и по доле особей всех вариантов типа 2. Доля особей, у которых ствол утрачивает ортотропное направление либо утрачивает свою лидерную роль в кроне в целом, суммарно ни в одном локалитете не превышает 25%. Особи с наиболее интенсивным и разнообразным ветвлением и неустойчиво-моноподиальным нарастанием (тип 1, вариант «а») в сомкнутых парцеллах не обнаружены. В то же время во всех более освещенных элементах мозаики отмечены особи варианта «а» типа 1, при этом в большинстве данных элементов преобладают особи типа 1. Исключения связаны с опушками и окнами лесов на надпойменных террасах Ветлуги, в которых довольно большую долю от общей численности составляют особи, принадлежащие к АТ II–IV.

Можно заметить, что основные различия в конструктивной организации особей между элементами горизонтальной мозаики с разным уровнем освещенности связаны со стратегией адаптации ветвей к условиям затенения. Отчетливо прослеживаются две основные стратегии: рост ветвей по диагонали вверх, к наиболее доступной солнечной радиации, и в целом по горизонтали с формированием таких побеговых комплексов, которые способны наиболее полно улавливать доступную солнечную радиацию [3, 12, 16, 19, 29, 32].

В условиях затенения помимо особей, у которых главную роль в освоении пространства вокруг ствола играют плагиотропные ветви, значительная часть особей реализует обе стратегии. Совмещение стратегий реализуется двумя способами. Первый способ представляет собой вертикальную дифференциацию кроны на две зоны: более протяженную, состоящую из плагиотропных ветвей, и менее протяженную (от трети до четверти общей высоты дерева), состоящую из восходящих ветвей. Второй способ заключается в чередовании плагиотропных и восходящих ветвей вдоль ствола без выраженной закономерности. Массовое образование плагиотропных ветвей и задержка либо редукция перехода к восходящим ветвям особенно характерны для местообитаний с крупными еловыми разновозрастными парцеллами (локалитеты В и М). Если особи *P. abies* занимают различные яру-

сы местообитания – от подлеска до первого подъяруса древостоя, – то даже в элементах оконной мозаики значительное распространение получают такие особи *Q. robur*, крона которых образована только плагиотропными ветвями. Напротив, в лесах с небольшим участием *P. abies* (локалитеты Л, О и Ш) значительная часть особей *Q. robur* формирует АТ I даже под пологом древостоя.

У особей всех типов могут образовываться ветви, образованные различными сочетаниями симподиев и ложнодихотомических структур (2а (2) и 2б (2) на рис. 4). Разнообразие систем осей, образующих ветви данного типа, варьирует от регулярно перевершинивающихся осей с волнистой или зигзагообразной формы до последовательных V- и L-образных разделений осей. В составе симподиев длины годовых побегов, как было указано выше, существенно сокращаются по сравнению с моноподиально нарастающими участками ветви. Ветви с вариантами симподиального нарастания и ложнодихотомических структур представлены у 10–40% особей, произрастающих под пологом и в элементах оконной мозаики елово-сосновых лесов с мелколиственными видами. При этом разделение оси на вильчатые структуры и изменение ее количественных характеристик происходит не только у наиболее онтогенетически ранних ветвей, расположенных в нижней части живой кроны, но и в средней, а зачастую и в верхней части кроны. Подобные ложнодихотомические структуры отражают реакцию ветви на неблагоприятные условия освещения и, возможно, на низкое плодородие почвы, как это отмечено и у других видов деревьев [12]. Разделение ветви на дочерние оси, переход к регулярным перевершиниваниям оси и сокращение длин годовых приростов хорошо согласуется с описанным на примере плодовых деревьев преобразованием ветвей в ходе старения особи [31]. Следовательно, у значительной части затененных особей *Q. robur*, произрастающих на малоплодородных подзолистых почвах надпойменных террас, старение ветвей начинается еще до достижения средневозрастного генеративного состояния онтогенеза.

Результаты исследований показывают, что основной способ формирования кроны у особей *Q. robur* в южнотаежных сообществах Нижегородской области соответствует стратегии онтоморфогенеза дерева первой величины [20]. Растущий вертикально ствол выступает основной координирующей осью кроны, а ветви существенно уступают ему по силе развития. При этом устойчивость данной конструкции прослеживается даже у тех особей, ствол которых утрачивает свою структурно-функциональную роль в ходе своего развития. В нижней, а зачастую и в средней вертикальной зоне кроны ствол сохраняет лидирующее положение в кроне, а затем отклоняется от вертикального направления роста и/или распадается на

сложную ложнодихотомически организованную систему осей. Кроме того, конструкция, состоящая из ортотропного ствола и восходящих ветвей, по-видимому, в наибольшей степени соответствует видоспецифической модели побегообразования *Q. robur*. Это заключается в том, что данная конструкция в качестве элемента, высотной зоны кроны формируется в широком спектре условий произрастания. Различия в освещенности и в определенной степени в почвенных условиях воздействуют прежде всего на конструкцию ветвей I порядка и на количественные характеристики годичных побегов ствола и ветвей I порядка. В местообитаниях пойм и надпойменных террас Нижегородского Левобережья молодые особи *Q. robur* формируют в целом такие же типы конструкций, как и в других природных зонах [21, 22]. Архитектурные характеристики тех особей *Q. robur*, которые произрастают на пойменных лугах, подтверждают представление о том, что именно пойменные местообитания наиболее благоприятны для расселения вида в подзоне южной тайги [8].

Заключение

В сообществах южной тайги Нижегородской области конструкция побегового тела у молодых особей *Q. robur* реализуется в виде четырех типов. Их основными характеристиками выступают ортотропный ствол и преимущественно восходящие ветви (1); ортотропный ствол и преимущественно плагиотропные ветви (2); ствол, меняющий направление от ортотропного к плагиотропному, с разным направлением ветвей в

зависимости от стороны изгиба (3); ствол, замещающийся сложной ложнодихотомической структурой (4). Каждый тип реализуется через набор вариантов, различающихся по особенностям ветвления и конфигурации определенных зон кроны.

На пойменных лугах произрастают только особи типа 1. В остальных элементах горизонтальной мозаики местообитаний речных пойм и надпойменных террас преобладают особи типов 1 и 2.

Широкое распространение типа 1 в различных условиях освещения и почвенного богатства позволяет предположить, что именно данный тип в наибольшей степени отображает видоспецифическую модель побегообразования *Q. robur*, которая соответствует его исходному экологическому оптимуму. Остальные типы формируются при сильном отклонении от оптимальных условий.

Строение побеговых систем *Q. robur* подтверждает результаты флористических и геоботанических исследований, согласно которым в подзоне южной тайги наиболее благоприятными местообитаниями для расселения вида являются поймы рек.

Благодарности: Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН «Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна» (регистрационный номер 1021060107217-0-1.6.19). Автор выражает признательность рецензентам за замечания по терминологическому аппарату рукописи.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Аверкиев ДС, Аверкиев ВД. Определитель растений Горьковской области. 2-е изд., испр. и доп. Горький: Волго-Вятское книжное издательство; 1985.
2. Антонова ИС, Гниловская АА. Побеговые системы кроны *Acer negundo* L. (Aceraceae) в разных возрастных состояниях. Бот журн. 2013;98(1):53-68.
3. Антонова ИС, Николаева НВ. Особенности структуры кроны *Frangula alnus* (Rhamnaceae). Бот журн. 2002;87(10):90-101.
4. Антонова ИС, Фатьянова ЕВ. Необходимость использования знаний о строении и развитии кроны деревьев в различных фундаментальных и прикладных разделах геоботаники. Бот журн. 2014;99(12):1305-16.
5. Антонова ИС, Фатьянова ЕВ. 2016. О системе уровней строения кроны деревьев умеренной зоны. Бот журн. 2016;101(6):628-49. <https://doi.org/10.1134/S000681361606003X>.
6. Вишницкая ОН, Савиных НП. Формирование жизненной формы *Menyanthes trifoliata* (Menyanthaceae). Растительные ресурсы. 2008;44(3):1-8.
7. Гатцук ЛЕ. Геммаксиллярные растения и система соподчиненных единиц их побегового тела. Бюлл МОИП. Отд биол. 1974;79(1):100-13.
8. Добрынин АП, Комиссарова МГ. Самые северные дубравы России. Вологда; 2012.
9. Евстигнеев ОИ, Короткова НВ. Онтогенез дуба черешчатого на пойменных лугах Брянского лесья. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2023; 8(2). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2023-2-1>.

10. Жукова ЛА, Комаров АС. Поливариантность онтогенеза и динамика ценопопуляций растений. Журн общ биол. 1990;51(4):450-61.
11. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». Атлас почв Российской Федерации. Нижегородская область. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/nizhegorodskaya-oblast> (Дата обращения: 20.08.2024).
12. Казакова НЛ, Антонова ИС. Форма кроны *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch в разных возрастных состояниях и экологических условиях естественных местообитаний. Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология». 2015;(3):135-53.
13. Костина МВ, Барабанщикова НС, Абакарова СГ. Конструктивная организация *Betula pendula* Roth. Социально-экологические технологии. 2022;12(3):257-83. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-3-257-283>.
14. Любов МС, Любова ЕЮ. Нижегородское краеведение: учебное пособие. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ; 2016.
15. Мазуренко МТ, Хохряков АП. Структура и морфогенез кустарников. М.: Наука; 1977.
16. Мазуренко МТ, Хохряков АП. Классы метамеров деревьев. Журн общ биол. 1991;52(3):409-21.
17. Николаева СА, Савчук ДА. Морфологические формы кедров сибирского (*Pinus sibirica* du Tour) в высокогорных лесах Северо-Чуйского хребта: 1. Морфологический аспект. Вестник Томского гос ун-та. Биология. 2013;22(2):101-14.
18. Разумовский ЮВ. Особенности развития липы *Tilia cordata* Mill. в городе. Биол. науки. 1991;(8):151-60.
19. Ричардс П. Тропический дождевой лес. М.: Издательство иностранной литературы; 1961.
20. Серебряков ИГ. Экологическая морфология растений. М.: Высш. школа, 1962. 380 с.
21. Стаменов МН. Поливариантность габитуса виргинильных и молодых генеративных особей *Quercus robur* L. (Fagaceae) в фитоценозах бассейна Верхней и Средней Оки. Фиторазнообразие Восточной Европы. 2020;14(1):66-90. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2020-10066>.
22. Стаменов МН. Архитектурная единица у молодых особей *Quercus robur* L. в луговых степях и островных лесах южной лесостепи Воронежской области. Социально-экологические технологии. 2023;13(2):186-219. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2023-13-2-186-219>.
23. Царев АП, Погиба СП, Тренин ВВ. Селекция и репродукция лесных древесных пород: Учебник. М.: Логос; 2003.

Общий список литературы/Reference List

1. Averkiyev DS, Averkiyev VD. Opredelitel' Rasteniy Gor'kovskoy Oblasti. 2th ed. Gor'kiy: Volgo-Vyatskoe knizhnoye izdatel'stvo; 1985. (In Russ.)
2. Antonova IS, Gnilovskaya AA. [Shoot systems of *Acer negundo* L. (Aceraceae) crown in different age stages]. Botanicheskiy Zhurnal. 2013;98(1):53-68. (In Russ.)
3. Antonova IS, Nikolaeva NV. [Peculiarities of crown structure of *Frangula alnus* (Rhamnaceae)]. Botanicheskiy Zhurnal. 2002;87(10):90–101. (In Russ.)
4. Antonova IS, Fatianova EV. [Role of studying different structural levels of tree crowns in various fields of knowledge]. Botanicheskiy Zhurnal. 2014;99(12):1305–1316. (In Russ.)
5. Antonova IS, Fatianova EV. [On the system of levels of the crown structure in temperate zone trees]. Botanicheskiy Zhurnal. 2016;101(6):628-49. <https://doi.org/10.1134/S000681361606003X>. (In Russ.)
6. Vishnitskaya ON, Savinykh NP. [*Menyanthes trifoliata* (Menyanthaceae) life form formation]. Rastitel'nyye resursy. 2008;44(3):1-8. (In Russ.)
7. Gatsuk LE. [Hemmaxil plants and a system of subordinate units of their runaway body]. Byulleten' MOIP. Otdel Biologicheskiiy. 1974;79(1):100-13. (In Russ.)
8. Dobrynin AP, Komissarova MG. Samyye Severnyye Dubravy Rossii. [Northernmost oak forests of Russia]. Vologda; 2012. (In Russ.)
9. Evstigneev OI, Korotkova NV. [Ontogeny of pedunculate oak in flood meadows of the Bryansk Polesie]. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2023;8(2). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2023-2-1>. (In Russ.)
10. Zhukova LA, Komarov AS. [Polyvariance of ontogenesis and plant cenopopulation dynamics]. Zhurnal obshchey biologii. 1990;51(4):450-61. (In Russ.)
11. Informational System “Soil-Geographic Database of Russian Federation”. Soil Atlas of Russian Federation. Nizhny Novgorod region. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/nizhegorodskaya-oblast> (Date of access 20.08.2024). (In Russ.)
12. Kazakova NL, Antonova IS. [The crown shape of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch under the different age stages and ecological conditions in natural habitats]. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologiya i ekologiya». 2015;(3):135-53. (In Russ.)
13. Kostina MV, Barabanshchikova NS, Abakarova SG. [Constructive organization of *Betula pendu-*

- la* Roth.]. Sotsial'no-ekologicheskiye tekhnologii. 2022;12(3):257-83. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-3-257-283>. (In Russ.)
14. Lyubov MS, Lyubova YEU. Nizhegorodskoye Krayevedeniye: Uchebnoye Posobiye. Arzamas: Arzamasskiy filial NNGU; 2016. (In Russ.)
 15. Mazurenko MT, Khokhriakov AP. Struktura i morfogenez kustarnikov. Moscow: Hayka; 1977. (In Russ.)
 16. Mazurenko MT, Khokhriakov AP. [Classes of tree metameris]. Zhurnal obshchey biologii. 1991;52(3):409-21. (In Russ.)
 17. Nikolaeva SA, Savchuk DA. [Morphological forms of siberian stone pine trees (*Pinus sibirica* Du Tour) in high altitudinal forests of Severo-Chuisky range: 1. Morphological aspect]. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya. 2013;22(2):101-14. (In Russ.)
 18. Razumovskiy YuV. Osobennosti razvitiya lipy *Tilia cordata* Mill. v gorode. [Features of the development of *Tilia cordata* Mill. in the city]. Biologicheskiye Nauki. 1991;(8):151-60. (In Russ.)
 19. Richards P. Tropicheskiy dozhdevoy les. [The tropical rain forest. An ecological study]. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury; 1961. (In Russ.)
 20. Serebryakov IG. Ekologicheskaya morfologiya rasteniy. Moscow: Vysshaya shkola; 1962. (In Russ.)
 21. Stamenov MN. [Polyvariance of the habitus of virginal and young reproductive individuals of *Quercus robur* L. (Fagaceae) in phytocenoses of the Upper and Middle Oka river]. Fitoraznoobraziye Vostochnoy Evropy. 2020;14(1):66-90. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2020-10066>. (In Russ.)
 22. Stamenov MN. [Architectural unit in young individuals of *Quercus robur* L. in meadow steppes and isular forests of the Southern forest-steppe of Voronezh region]. Sotsial'no-ekologicheskiye tekhnologii. 2023;13(2):186-219. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2023-13-2-186-219>. (In Russ.)
 23. Tsarev AP, Pogiba SP, Trenin VV. Seleksiya i reproduksiya lesnykh drevesnykh porod. [Breeding and Reproduction of Forest Tree Species]. Moscow: Logos; 2003. (In Russ.)
 24. Caraglio Y, Édelin C. Architecture et dynamique de croissance du platane *Platanus hybrida* Brot. (Platanaceae) {Syn. *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd.}. Bull. Soc. bot. Fr. 1990;137:279-91.
 25. Édelin C. Nouvelles données sur l'architecture des arbres sympodiaux: le concept de plan d'organisation. In: L'Arbre: Biologie et Développement: Proceedings of the Naturalia Mospeliensia, 2nd International Tree Conference. Montpellier; 1991:127-54.
 26. Evstigneev OI, Korotkov VN. Ontogenetic stages of trees: an overview. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016;1(2). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2016-2-1>.
 27. Evstigneev OI, Korotkova NV. Features of undergrowth development in eastern european forests. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2019;4(2):31-53. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2019-2-3>.
 28. Hallé F, Oldeman RA, Tomlinson PB. Tropical trees and architectural analysis. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag; 1978.
 29. Millet J, Bouchard A, Édelin C. Plagiotropic architectural development of four tree species of the temperate forest. Can J Bot. 1998;76:2100-18.
 30. O'Connell BM, Kelty MJ. Crown architecture of understory and open-grown white pine (*Pinus strobus* L.) saplings. Tree Physiology. 1994;14:89-102.
 31. Raimbault P, Tanguy M. La gestion des arbres d'ornement. Ire partie: Une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne. Revue forestière française. 1993;25(2):97-117.
 32. Verdu M, Climent J. Evolutionary correlations of polycyclic shoot growth in *Acer* (Sapindaceae). Am J Bot. 2007;94(8):1316-20.



ЗАПОВЕДНОЕ ДЕЛО В РОССИИ: СТАНДАРТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КВАЛИФИКАЦИЙ И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Г.А. Шайхутдинова^{1, 3*}, Т.В. Рогова¹, О.Н. Кревер²,
Л.Г. Фалалеева²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань);

² Информационно-аналитический центр поддержки заповедного дела Минприроды России (Москва) и

³ Национальный парк Нижняя Кама (Елабуга), Российская Федерация

* Эл. почта: gshaykhu@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.10.2024; принята к печати 18.10.2024

Заповедное дело рассматривается как профессиональная сфера деятельности и самостоятельная отрасль экономики. Выполнен обзор отечественного опыта определения профессиональных квалификаций работников заповедной сферы в советский период и в настоящее время, рассмотрены подходы стандартизации заповедной деятельности за рубежом. Исследование показало наличие пробелов и несоответствий в способах отражения заповедного дела в системах стандартизации промышленно-экономических, производственно-образовательных и трудовых отношений, действующих в Российской Федерации. Нечеткость представлений об отрасли и ее профессиях становится препятствием для разработки профильных образовательных программ подготовки кадров. На основе функционального анализа содержания нормативных правовых актов, организационных и методических документов, регламентирующих деятельность учреждений заповедной отрасли в современной России, определены основные виды профессиональной деятельности, составлена функциональная карта должностей заповедного дела. Функциональной картой обозначена общая отраслевая система профессиональных квалификаций заповедного дела. Для вида профессиональной деятельности «охрана и использование особо охраняемых природных территорий» разработан профессиональный стандарт «Специалист в области заповедного дела».

Ключевые слова: сохранение биологического разнообразия, вид профессиональной деятельности, отраслевая система квалификаций, профессиональный стандарт, трудовые функции.

NATURE RESERVE AFFAIRS IN RUSSIA: STANDARDS OF PROFESSIONAL QUALIFICATIONS AND STAFF TRAINING

G.A. Shaykhutdinova^{1, 3*}, T.V. Rogova¹, O.N. Krever², L.G. Falaleeva²

¹ Kazan Federal University (Kazan); ² Informational and Analytical Center for Support of Conservation Affairs, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Moscow) and ³ National Park Nizhniaya Kama (Yelabuga), the Russian Federation

* E-mail: gshaykhu@gmail.com

Nature reserve affairs are considered as an area of professional activity and an independent branch of economy. Russian experience in determining the professional qualifications of employees of nature reserves during the Soviet period and at present is reviewed, and approaches to standardization of activities related to protected area practiced abroad are considered. The study reveals gaps and inconsistencies in approaches to reflecting nature reserves management in the systems of standardization of industrial, economic, educational and labor relations in the Russian Federation. The vagueness of concepts considering this area of professional activity and related professions is an obstacle to development of specialized educational programs for staff training. Based on a functional analysis of the contents of the regulatory legal acts and organizational and methodological documents regulating the activities of institutions involved in nature reserve affairs in modern Russia, the main types of professional activity are determined and a functional map of positions in nature reserve management is suggested. The functional map outlines the general framework of professional qualifications in nature reserve affairs. A draft professional standard «Specialist in nature reserve affairs» for professional domain «Conservation and Use of Protected Areas» has been developed.

Keywords: biodiversity conservation, type of professional activity, sectoral qualifications framework, professional standard, labor functions.

Перечень сокращений

ЕКС – Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих

КоАП РФ – Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях

ОКВЭД – Общероссийский классификатор видов экономической деятельности

ОКЗ (ОК 010-2014 (МСКЗ-08)) – Общероссийский классификатор занятий

(в редакции 2014 года синхронизирован с Международной стандартной классификацией занятий 2008 г.)

ОКОНХ – Общесоюзный классификатор отраслей народного хозяйства

ОКПДТР – Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов

ОКСО – Общероссийский классификатор специальностей по образованию

ООПТ – Особо охраняемые природные территории

ОТФ – Обобщенная трудовая функция

ПС – Профессиональный стандарт

РФ – Российская Федерация

ТФ – Трудовая функция

ФГБУ – Федеральное государственное бюджетное учреждение

Введение

Природоохранная деятельность по созданию и обеспечению функционирования системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) носит в России традиционное название «заповедное дело». Утвержденное правовое определение этого понятия не существует, но с учетом основного положения Федерального закона № 33-ФЗ¹ заповедное дело можно определить как деятельность «в области охраны и использования, в том числе создания, ООПТ в целях сохранения уникальных и типичных природных комплексов и объектов, объектов растительного и животного мира, естественных экологических систем, биоразнообразия, проведения научных исследований в области охраны окружающей среды, экологического мониторинга, экологического просвещения». Отечественное заповедное дело, отметившее в 2017 году столетний юбилей, пережило множество реформ: деятельность расширялась с созданием новых ООПТ и неоднократно сворачивалась при массовом упразднении учреждений заповедной системы, менялась ведомственная принадлежность, пересматривались цели организации ООПТ и спектр решаемых ими практических задач. История реформирования системы ООПТ России, причины и последствия преобразований, роль конкретных персон

¹ Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102034651>.

в этом процессе неоднократно становились предметом обсуждения [5, 6, 11, 12, 14, 16, 22]. Теории и практике заповедного дела посвящено множество публикаций, где внимание сфокусировано на рассмотрении структуры заповедного фонда, особенностях организации отечественной системы ООПТ, научно-методических принципах ее развития и функционирования.

Но как ни странно, заповедному делу как профессиональной сфере деятельности с указанием требований, предъявляемых специалистам, в ней занятым, ни в научной, ни в учебной литературе почти не уделяется внимания. При этом очевидно, что эффективность функционирования ООПТ и решение всех возложенных на них задач напрямую зависит от профессионализма и ответственности людей, которые трудятся на конкретных рабочих местах. Приток квалифицированных кадров в отрасль возможен при четком понимании сферы профессиональных обязанностей и рисков, при наличии системы профильной подготовки и высоком социальном престиже профессии. При этом в бюджетной сфере, к которой относится заповедная отрасль, значимость и престиж профессий во многом определяются государством, что отражается в уровне финансирования, в развитии системы социально-экономической поддержки работников, в формировании государственного заказа на целевую подготовку кадров. К сожалению, заповедное дело как профессиональная сфера деятельности и самостоятельная отрасль экономики незаслуженно долго обделялось вниманием и почти не отображается в действующих системах стандартизации промышленно-экономических, производственно-образовательных и трудовых отношений. Характерно, что и у профессиональной общественности (представителей вузов, готовящих специалистов в области решения фундаментальных и прикладных проблем экологии, и у профессиональных объединений в сфере экологии и природопользования, и даже у самих работников учреждений заповедной системы) за редкими исключениями нет однозначного представления о направлениях профессиональной заповедной деятельности и квалификациях, необходимых для работы в отрасли.

Задача настоящей статьи – обратить внимание профессиональной общественности на необходимость обозначения и утверждения реального экономического статуса заповедной отрасли и важности внесения основных профессий заповедного дела (заповедных профессий) в системы стандартизации, действующие в сфере труда и подготовки кадров.

Применение понятий национальной системы профессиональных квалификаций РФ в заповедном деле

В настоящее время заповедную систему Российской Федерации (РФ) формируют 340 ООПТ федерального значения, в том числе: 107 государственных при-

родных заповедников, 72 национальных парка, 64 государственных природных заказника, 22 памятника природы федерального значения и 75 дендрологических парков и ботанических садов. Из них в ведении Минприроды России находится 104 заповедника, 70 национальных парков, 63 заказника, остальные федеральные ООПТ отнесены к иным ведомствам² [3]. Кроме того, в систему входит более 10000 ООПТ регионального значения (природные парки, государственные природные заказники регионального значения, памятники природы регионального значения и ООПТ иных категорий) и более 1000 ООПТ местного значения. Суммарно ООПТ РФ занимают 244,5 млн га, что составляет около 13% сухопутной территории страны. Значимость и перспективы развития заповедной системы РФ определены пониманием ключевой роли природных экосистем страны в глобальном регулировании климата, сохранении биологического разнообразия и поддержании экосистемных услуг, важных для всего человечества. ООПТ РФ составляют 9% площади всех охраняемых природных территорий мира, многие из них включены в Список объектов Всемирного природного наследия, имеют статус биосферных резерватов [9]. Заповедную систему России правомерно рассматривать как особую отрасль (или сегмент) экономики, которая косвенно обеспечивает прирост национального продукта через поддержание экологического баланса [5, 8]. Стратегией экологической безопасности РФ³ основные направления деятельности заповедной отрасли отнесены к числу приоритетных – это реабилитация нарушенных и сохранение естественных экосистем, развитие и устойчивое функционирование системы ООПТ для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, активизация научных исследований в области охраны окружающей среды и природопользования, повышение эффективности государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), включая объекты животного и растительного мира, развитие системы экологического образования и просвещения, повышение квалификации кадров в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Управление ООПТ федерального значения осуществляется либо федеральными органами исполнительной власти, либо созданными в установленном законодательством РФ порядке федеральными государственными бюджетными учреждениями (ФГБУ),

² Маканова ИЮ. Доклад директора Департамента государственной политики и регулирования в сфере развития ООПТ Минприроды России на заседании Общественного Совета при Минприроды России от 25.05.2024 в г. Сочи.

³ Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена Указом Президента РФ от 19.04.2017 № 176. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636>.

подведомственными Минприроды России или иным федеральным органам исполнительной власти, государственными научными и государственными образовательными организациями высшего образования (в отношении ботанических садов и дендрологических парков)⁴. Управление ООПТ регионального значения осуществляется государственными бюджетными и казенными учреждениями, подведомственными органам исполнительной власти субъектов РФ, которые реализуют государственную политику в области охраны и использования ООПТ. Вопросы охраны и использования ООПТ местного значения отнесены к полномочиям органов местного самоуправления. К заповедной системе относится также ФГБУ «Информационно-аналитический центр поддержки заповедного дела» (Росзаповедцентр) – учреждение, подведомственное Минприроды России, которое обеспечивает сопровождение деятельности министерства по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области создания, охраны и использования ООПТ федерального значения⁵. По данным Росзаповедцентра, на июнь 2024 года фактическая численность работников ФГБУ ООПТ составляет 10133 человека. При этом для полного укомплектования их штатной численности не хватает почти 3000 человек, дефицит кадров составляет 23%. С учетом того, что приведенная статистика почти не изменяется на протяжении длительного времени, задача обеспечения заповедной отрасли квалифицированными кадрами является одной из первоочередных.

Федеральным проектом «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» национального проекта «Экология» предусмотрено достижение результата «Создана система подготовки кадров для заповедной системы». Обязательность включения во все национальные/федеральные проекты мероприятий по подготовке кадров была обозначена Правительством РФ для увязки со Стратегией национальной безопасности РФ⁶. В современных условиях подготовка кадров должна соответствовать процедурам и требованиям, ориентированным на «формирование современного гибкого механизма кадрового обеспечения для решения приоритетных задач научно-технологического и социально-экономического развития РФ», разрабатываемым в ходе развития национальной системы квалификаций РФ⁷.

⁴ Статья 28 Федерального закона от 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях».

⁵ Устав ФГБУ «Информационно-аналитический центр поддержки заповедного дела». Утвержден приказом Минприроды России от 25.04.2017 № 200. 18 с.

⁶ Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40391>.

⁷ Стратегия развития национальной системы квалификаций Российской Федерации на период до 2030 года. Одобрена Национальным советом

Формирование национальной системы квалификаций – наиболее общая практика государственного регулирования рынка труда в мире. Подход, первоначально разработанный и принятый в англоязычных странах, сегодня широко применяется в других государствах [15, 21] с внесением изменений при адаптации к национальным традициям и особенностям государственной политики в сфере образования и труда [18]. Основа национальной системы квалификаций РФ определена Указом Президента РФ⁸ и включает следующие структурные элементы [2]: перечень областей профессиональной деятельности с входящими в них профессиями, которые соответствуют видам экономической деятельности; национальную рамку квалификаций, основанную на квалификационных уровнях, а также производные от нее отраслевые рамки квалификаций. Области профессиональной деятельности объединяют профессиональные стандарты и процедуры их признания (регистрации). Архитектура национальной рамки квалификаций определяется национальными особенностями системы образования, государственной административной системы и внутренней ситуации на рынке труда [4]. Реализацию мероприятий обеспечивают специальные органы: отраслевые советы по профессиональным квалификациям, национальный орган по вопросам развития квалификаций и органы по сертификации квалификаций.

Понятия «профессиональный стандарт» и «квалификация» закреплены статьей 195.1 Трудового кодекса РФ⁹, правовые основы их применения в сфере образования установлены Федеральным законом № 273-ФЗ¹⁰. Профессиональный стандарт (ПС) – характеристика квалификаций, необходимых работникам для осуществления определенного вида профессиональной деятельности, в том числе выполнения определенных трудовых функций. Квалификация – уровень знаний, умений, профессиональных навыков и опыта работы. Уровни квалификации применяются при разработке ПС для описания трудовых функций, требований к образованию и обучению работников. В национальной системе России выделено девять уровней квалификации¹¹.

при Президенте РФ по профессиональным квалификациям (протокол от 12.03.2021 № 51). Москва, 2021. 21 с.

⁸ Указ Президента РФ от 07.05.2012 № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201205070023>.

⁹ Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ. Статья 195.1. Понятия квалификации работника, профессионального стандарта. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074279>.

¹⁰ Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (последняя редакция). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902389617>.

¹¹ Приказ Минтруда России от 12.04.2013 № 148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов». URL: <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/48>.

К настоящему времени в РФ разработаны и приняты более полутора тысяч ПС, относящихся к различным областям профессиональной деятельности: технической, инженерной, градостроительной, сельскохозяйственной, медицинской, образовательной, правовой, архитектурно-строительного проектирования, проектирования и эксплуатации транспортных средств¹². Некоторые из них имеют отношение к сфере природопользования: разработаны ПС для егерей, охотоведов и охотников, инженеров по лесопользованию и лесных пожарных. Однако ПС для работников, занимающих основные должности штатного расписания учреждений заповедной системы отсутствуют. Поэтому при формировании Паспорта федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма»¹³ для достижения результата «Создана система подготовки кадров для заповедной системы» была определена задача и запланированы мероприятия по организационно-методическому обоснованию отраслевой системы квалификаций заповедного дела, включая разработку ПС «Специалист в области заповедного дела».

Категории отраслевой системы профессиональных квалификаций заповедного дела

Формированием отраслевой системы профессиональных квалификаций и подготовкой проекта ПС «Специалист в области заповедного дела» в инициативном порядке занималась рабочая группа специалистов Росзаповедцентра и Института экологии, биотехнологии и природопользования Казанского федерального университета при поддержке коллектива национального парка «Куршская коса». В качестве экспертов привлекались специалисты Минприроды России и Росприроднадзора, а также Волжско-Камского, Висимского, Кроноцкого, Приокско-Тerrasного, Астраханского, Катунского, Хакасского государственных заповедников.

В ходе обоснования отраслевой рамки квалификаций выполнен анализ утвержденных Минтрудом России областей и видов профессиональной деятельности, связанных с использованием природных ресурсов, обзор отраслевых категорий системы стандартизации промышленно-экономических и производственно-образовательных отношений, действующей в форме справочников и классификаторов: ОКВЭД, ОКЗ, ЕКС, ОКПДТР, ОКСО. Изучен отечественный опыт определения профессиональных квалификаций работни-

¹² <https://profstandart.rosmintrud.ru/>

¹³ Паспорт федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» национального проекта «Экология». Утвержден протоколом заседания проектного комитета от 25.04.2019 № 2 (п. 4 раздела 1) в подсистеме управления НП ГИИС «Электронный бюджет».

ков заповедной сферы, а также опыт некоторых стран Европы, Америки и Азии. На основе функционального анализа содержания нормативных правовых актов, организационных и методических документов, регламентирующих деятельность учреждений заповедной отрасли РФ, определены виды профессиональной деятельности, разработана функциональная карта квалификаций работников заповедной сферы, которая стала основой подготовки ПС «Специалист в области заповедного дела». Проанализировано современное состояние подготовки кадров для заповедной отрасли и перспективы развития заповедного дела как области профессиональной деятельности в РФ.

Основными структурными элементами функциональной карты являются обобщенные трудовые функции (ОТФ)¹⁴, характеризующие виды выполняемых работ по конкретной профессии или должности штатного расписания. Формулировка ОТФ – это краткое описание группы выполняемых работником практических задач в соответствии с занимаемой должностью. ОТФ ориентирует на определенный уровень квалификации, задающий широту полномочий и уровень ответственности специалиста. Поэтому для каждой ОТФ должны быть обозначены требования к уровню образования, опыту работы, особые условия допуска к работе со ссылкой на регламентирующие эти требования документы; зафиксировано положение должности/профессии в ОКЗ, ЕКС, ОПДТР и ОКСО. Декомпозиция вида профессиональной деятельности на составляющие ОТФ выполняется с учетом рекомендованных общих принципов: полноты охвата всех возможных направлений деятельности работника; возможности выполнения каждой ОТФ одним работником; соответствия формулировок правовым терминам и определениям; возможности организовать оценку действий работника в рамках ОТФ.

В функциональной карте каждая ОТФ описывается перечнем трудовых функций (ТФ) – формулировок конкретных видов поручаемой работы в рамках должности/профессии. В свою очередь, каждая ТФ представляет собой описание трудовых действий, а также необходимых для их выполнения практических умений и теоретических знаний. Перечень трудовых действий служит основой составления должностных инструкций работников и обеспечивает возможность проверки их соответствия требованиям профессиональных квалификаций. Перечни умений и знаний ориентируют учебные заведения (средние специальные и высшие) на формирование системы профессиональных компетенций при разработке профильных образовательных программ в соответствии с требова-

ниями действующих и проектируемых федеральных государственных образовательных стандартов среднего профессионального и высшего образования. Разделение ОТФ на составляющие ее ТФ выполняется с соблюдением тех же принципов, которые используются при декомпозиции вида профессиональной деятельности, с учетом, что каждая ТФ ведет к получению конкретного результата, а совокупность всех ТФ полностью описывает результаты деятельности в рамках конкретной ОТФ.

Для организации профессионально-общественного обсуждения проект ПС «Специалист в области заповедного дела» был направлен в ведущие учреждения заповедной системы России и в ведущие вузы, осуществляющие подготовку по профильным программам, наиболее близким к задачам заповедного дела. Также проект был размещен на сайтах Росзаповедцентра и Общероссийского межотраслевого объединения работодателей в сфере экологии и природопользования «Союз Экологов России», представлен в ходе общественных слушаний в Комиссии по экологии и устойчивому развитию Общественной палаты РФ, состоявшихся 12 декабря 2023 года. Всего в профессионально-общественном обсуждении проекта ПС участвовало более 100 учреждений, организаций и общественных объединений; география откликов охватывает широкий спектр регионов РФ, от Камчатского края до Республики Крым.

Основные направления деятельности работников учреждений заповедной системы РФ определены Федеральным законом № 33-ФЗ в соответствии с задачами, установленными для различных категорий ООПТ. В ПС «Специалист в области заповедного дела» вид профессиональной деятельности определен формулировкой, изложенной в абзаце 3 преамбулы закона: «Охрана и использование ООПТ», а основной целью заповедной деятельности определено «Сохранение уникальных и типичных природных комплексов и объектов, объектов растительного и животного мира, естественных экологических систем, биоразнообразия, проведение научных исследований в области охраны окружающей среды, экологического мониторинга, экологического просвещения, развитие экологического туризма». Согласно действующему ОКВЭД, экономическая деятельность учреждений заповедной системы отнесена к пяти конечным кодам группы «91.04. Деятельность ботанических садов, зоопарков, государственных природных заповедников и национальных парков», связанным с «...деятельностью государственных природных заповедников, национальных парков и иных ООПТ, включая деятельность по сохранению дикой природы». В дополнение к основным кодам взята категория «74.90.5. Предоставление консультационных услуг в области экологии».

¹⁴Приказ Минтруда России от 29.04.2013 № 170н «Об утверждении методических рекомендаций по разработке профессионального стандарта». URL: <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/104>.

| Укрупненная группа занятий по ОКЗ | Уровень образования (квалиф. уровень) | Подразделения охраны ООПТ | Подразделения научной деятельности на ООПТ | Подразделения эколого-просветительской деятельности на ООПТ | Подразделения эколого-туристической деятельности на ООПТ | Учреждения, осуществляющие координацию системы ООПТ |
|-----------------------------------|--|--|--|---|--|---|
| Специалисты | Бакалавриат / сред. проф. образование (6) | Гос. инспектор (участковый, старший) | Лаборант-исследователь, стажер-исследователь | | | |
| | Магистратура / специалитет (7) | | Научный сотрудник (младший, старший) | Специалист (младший, старший) | Специалист (младший, старший) | Специалист (главный, ведущий) |
| Руководители | Магистратура / специалитет (7) | Начальник подразделения | | Начальник подразделения | Начальник подразделения | Начальник подразделения учреждения |
| | | Директор учреждения – главный гос. инспектор | | | | Директор / Руководитель учреждения |
| | Аспирантура / магистратура / специалитет (8) | | Начальник подразделения, главный и ведущий науч. сотрудник | | | |

Рис. 1. Линейки должностей отраслевой системы профессиональных квалификаций заповедной сферы (ОКЗ – Общероссийский классификатор занятости; ООПТ – особо охраняемые природные территории)

Все виды занятости работников заповедной системы, по которым определялась отраслевая рамка профессиональных квалификаций, объединяются в пять основных групп (рис. 1). Четыре из них связаны с квалификациями работников, являющихся штатными сотрудниками государственных учреждений, осуществляющих управление ООПТ федерального и регионального значения и обеспечивающих охрану и разрешенные виды использования территорий (осуществление научной (научно-исследовательской) деятельности и государственного экологического мониторинга, организацию деятельности по экологическому просвещению, организацию и осуществление туризма на ООПТ). К пятой группе относятся работники государственных структур, осуществляющих координацию, методическое и консультативное сопровождение деятельности системы ООПТ. Внутри групп должности выстраиваются в линейки в соответствии с возрастанием требований к уровню образования и опыту работы в отрасли. Линейки состоят из двух-трех ступеней в соответствии с группами ОКЗ: специалисты и руководители. В соответствии

с системой квалификационных уровней¹⁵ для специалистов заповедного дела были установлены шестой и седьмой квалификационные уровни, для руководителей – седьмой уровень, а для руководителей научно-исследовательских подразделений, главных и ведущих научных сотрудников – восьмой уровень квалификации.

Некоторые участники профессионально-общественного обсуждения проекта ПС в своих откликах отмечали, что линейки заслуживают большей детализации функционала. Признавая справедливость этих замечаний, на первоначальном этапе авторы проекта все же решили ограничиться описанием ОТФ, соответствующих основным ступеням линеек должностей (рис. 1), чтобы обозначить общую отраслевую рамку квалификаций заповедного дела, запустить систему квалификаций в действие, а также выявить проблемы и возможные препятствия стандартизации деятельности. Более того, скорейшее определение общей от-

¹⁵Приказ Минтруда России от 12.04.2013 № 148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов». URL: <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/48>.

раслевой системы квалификаций и утверждение ПС необходимы для разработки профильных образовательных программ подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для компенсации дефицита специалистов в отрасли. Вернуться к вопросу о целесообразности детализации функционала основных должностей и уточнению их квалификаций возможно в рамках процедуры актуализации ПС.

Согласно утвержденному Минприроды России перечню должностей работников¹⁶, наряду с должностями, формирующими основные линейки (рис. 1), в штатные расписания учреждений заповедной системы включены должности, закрепленные за иными видами профессиональной деятельности: инженеры по охране и защите леса, лесничие, экскурсоводы, специалисты по связям с общественностью, зоотехники, ветеринарные врачи. Для многих из них разрабатываются или уже утверждены собственные ПС, поэтому квалификационные требования для этих должностей в системе профессиональных квалификаций заповедного дела не рассматриваются.

Квалификации работников учреждений, обеспечивающих координацию, методическое и консультативное сопровождение деятельности федеральной или региональной системы ООПТ, включены в отраслевую систему квалификаций заповедного дела (рис. 1). Но работа таких специалистов отличается по условиям и характеру труда, поэтому рассматривается отдельно от прочих как самостоятельный вид профессиональной деятельности, для которого целесообразно утверждение отдельного ПС.

Определение экономического статуса заповедной отрасли

В ходе выполнения работ был обнаружен ряд пробелов в законодательстве, имеющих отношение к общим представлениям о заповедной отрасли и профессиональной деятельности в ней. Многие пробелы проистекают из укоренившихся в современной государственной системе промышленно-экономических отношений стереотипных представлений об ООПТ как о «музеях природы под открытым небом». Согласно действующей с 2014 года редакции ОКВЭД, основная деятельность учреждений заповедной системы отнесена к категории «91.04. Деятельность ботанических садов, зоопарков, государственных природных заповедников и национальных парков», которая входит в группу «91. Деятельность библиотек, архивов, музеев и прочих объектов культуры» общего раздела «Деятельность в области культуры, спорта, орга-

¹⁶ «Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по видам экономической деятельности, для расчета средней заработной платы...» Утвержден приказом Минприроды России от 29.05.2020 № 317 (с изм. на 15.09.2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/565281425?marker=6520IM>.

низации досуга и развлечений», что ставит учреждение заповедной системы на один уровень с театрами, игорными домами и прочими заведениями культурно-развлекательного досуга.

Такая ситуация сложилась относительно недавно. Ранее в «Общесоюзном классификаторе отраслей народного хозяйства» (ОКОНХ), действующем в период с 1976 по 2003 год, деятельность заповедников, ботанических и зоологических парков и садов как организаций, ведущих научную работу по утвержденному плану, относилась к самостоятельному разделу «Учреждения по охране природы, ведущие научную работу», в подотрасли «Учреждения, ведущие научно-исследовательские работы» отрасли народного хозяйства «Наука и научное обслуживание». Но уже в первой редакции национального ОКВЭД (ОК 029-2001), принятого взамен ОКОНХ, полностью исчезли разделы, связанные с любой научной деятельностью и культурой. В те годы Минприроды России, утверждая перечень должностей работников¹⁷, рассматривало деятельность работников основного персонала учреждений заповедной системы в разделе «Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг». В редакции ОКВЭД 2 (ОК 029-2014), действующей в настоящее время, разделы научной деятельности и культуры вновь появились, но связь заповедного дела с научной деятельностью не была восстановлена.

Особенно неуместным текущее положение отрасли в экономическом классификаторе выглядит в свете признания того факта, что заповедное дело России обеспечивает защиту интересов национальной безопасности¹⁸. Согласно статье 22 Федерального конституционного закона № 4-ФКЗ¹⁹, охрана окружающей среды и природопользование отнесены к полномочиям Правительства РФ, а Минприроды России «является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере охраны окружающей среды»²⁰, вклю-

¹⁷ Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по виду экономической деятельности «Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг», для расчета средней заработной платы... Утвержден приказом Минприроды России от 09.06.2009 № 147. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902164279#64U0IK>.

¹⁸ Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена Указом Президента РФ от 19.04.2017 № 176. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636>.

¹⁹ Федеральный конституционный закон от 06.11.2020 № 4-ФКЗ «О Правительстве Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46015>.

²⁰ Положение о Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 11.11.2015 № 1219. URL: <https://www.mnr.gov.ru/about/statute/>.

чая вопросы, касающиеся охраны и использования ООПТ. Многолетний опыт, наличие комплекса нормативных правовых актов и отраслевых организационных и методических документов, регламентирующих заповедную деятельность, не позволяют сомневаться в ее легитимности и государственной значимости. Действующий статус отрасли в системе стандартизации промышленно-экономических отношений требует пересмотра. Для корректного позиционирования всех кодов, соответствующих деятельности учреждений системы ООПТ, целесообразно либо введение в ОКВЭД нового самостоятельного раздела, либо включение их в основной раздел «О. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение» в качестве нового класса с проектным названием «84.4. Деятельность в области охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности на ООПТ (заповедное дело)».

По-видимому, из-за некорректного определения экономического статуса отрасли в реестре профессиональных стандартов Минтруда России²¹ для размещения ПС «Специалист в области заповедного дела» не нашлось подходящей области профессиональной деятельности. Отдельные направления заповедного дела соответствуют областям с начальными кодами «10» (архитектура, проектирование, геодезия, топография и дизайн), «12» (обеспечение безопасности), «14» (лесное хозяйство, охота). Казалось бы, подходящей является область реестра с кодом «14», но, с учетом наличия в заповедной системе России значительного количества нелесных ООПТ, задачи которых связаны с охраной биологического разнообразия водных и водно-болотных угодий, тундр, арктических пустынь, степей и опустыненных степей, сохранением геологических и историко-культурных ценностей, данная область даже по формальным признакам не дает необходимого уровня соответствия. Кроме того, к означенной области невозможно отнести научно-исследовательскую и эколого-просветительскую деятельность, осуществление туризма на ООПТ, рассмотрение и решение вопросов поддержки бесконфликтного существования, обеспечения традиционного образа жизни и традиционного природопользования коренных малочисленных народов на ООПТ, сохранение историко-культурного наследия. Поэтому для введения в реестр Минтруда России ПС «Специалист в области заповедного дела» было предложено открыть новую область профессиональной деятельности с проектным названием «Охрана окружающей среды и заповедное дело».

Проблемы с определением экономического статуса заповедной отрасли приводят к разночтениям и неопределенности описания основных заповедных про-

фессий в действующих системах стандартизации видов занятости и справочниках должностей. При том, что основной костяк заповедных профессий сложился уже давно, представления о необходимых для работы квалификациях и их нормативное определение претерпели заметную эволюцию. В настоящее время в связи с введением поправок в природоохранное законодательство²² вводятся новые направления деятельности работников заповедной системы России и повышается степень их ответственности. Это требует четкого определения рамок квалификации специалистов для формирования системы их качественной подготовки и аттестации.

Стандартизация квалификаций специалистов подразделений охраны ООПТ

Самой многочисленной и значимой частью штата учреждений заповедной системы являются работники отделов охраны ООПТ. Именно эта заповедная профессия испытала самые серьезные трансформации, отражая исторические перипетии реформирования приемов обращения с природными богатствами страны в советский период и в новейшей истории России. Сегодня в заповедном деле используется наименование «государственный инспектор в области охраны окружающей среды» с указанием уровня – главный, старший, участковый. В ходе профессионально-общественного обсуждения проекта ПС квалификации должностей линейки государственных инспекторов (госинспекторов) вызвали наибольшее количество вопросов и комментариев.

Сфера профессиональных задач госинспекторов оформлялась в ходе развития отечественных идей абсолютной заповедности [14]. Необходимость контролировать соблюдение запретов на охоту и все прочие виды природопользования на ООПТ, выявлять и пресекать нарушения, вести разъяснительную работу с местным населением привела к введению в штат заповедников должности начальника охраны и к развитию института наблюдателей (смотрителей и обходчиков) заповедных территорий [13]. Для представителей администрации и наблюдателей предусматривалось «право ношения и употребления оружия с соблюдением общих правил, установленных для гражданских ведомств, а также право производства дознаний по делам о нарушениях правил по охране природы»²³. В принятом в 1944 году «Уставе службы

²¹ <https://profstandart.rosmintrud.ru/>

²² Федеральный закон от 18.03.2023 № 77-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303180024>.

²³ Декрет ВЦИК СНК РСФСР от 05.10.1925 «Об охране участков природы и ее отдельных произведений, имеющих преимущественно научное и культурно-историческое значение». Раздел IV. Органы охраны природы. URL: https://www.libussr.ru/doc_ussr/ussr_2689.htm.

охраны государственных заповедников»²⁴ была обозначена линейка должностей, включающая ступени наблюдателя, старшего наблюдателя, начальника отдела охраны, директора заповедника. Уставом были закреплены требования к соискателям низовых должностей: физическое здоровье, возраст не моложе 18 лет и прохождение месячного испытательного срока. Также для каждого из уровней линейки наблюдателей впервые были определены должностные права и обязанности. Стоит отметить, что некоторые из положений Устава почти без изменения формулировок и сегодня входят в действующие должностные инструкции госинспекторов.

В связи с масштабными преобразованиями в заповедной сфере после окончания Великой Отечественной войны произошел перевод сотрудников отделов охраны в должности лесников с включением их в состав государственной лесной охраны²⁵. Начальник отдела охраны получил статус главного лесничего. В связи с реформированием действовавший ранее Устав службы охраны потерял силу. Профессия лесника, начиная с 1972 года, регулярно вносилась в справочник рабочих профессий²⁶, причем в перечне трудовых действий указывались обязанности по охране и контролю лесных территорий и полномочия по задержанию лиц, виновных в лесонарушениях и нарушениях правил охоты. С учетом отнесения лесников к рабочим профессиям, высшее образование для них не требовалось. Специальные инспекции охраны природы, состоящие из госинспекторов, лесников и егерей, пользовавшихся всеми правами государственной лесной охраны СССР, стали создаваться с введением в 1981 году типовых положений о государственных заповедниках²⁷ и национальных парках²⁸. Такие инспекции возглавлялись директорами заповедника или парка, которые получили статус главного госинспектора.

²⁴ Устав службы охраны государственных заповедников. Утвержден постановлением СНК РСФСР от 15.03.1944 № 205. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?BASENODE=41-1&req=doc&-cacheid=FC4407102484AD64FB203E2EF9C07FC4&mode=back-refs&cmd=wqdyQ&base=ESU&n=29046#D3tq54UuEIRGU4X41>.

²⁵ Положение о государственной лесной охране СССР. Утверждено Постановлением Совета Министров СССР от 22.03.1950 № 1181. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9003874>.

²⁶ Квалификационный справочник профессий рабочих, которым устанавливаются месячные оклады. Утвержден постановлением Госкомитета СССР по труду и социальным вопросам и ВЦСПС от 20.02.1984 № 58/3-102. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9012753>.

²⁷ Типовое положение о государственных заповедниках. Утверждено постановлением Госплана СССР и Госкомитета СССР по науке и технике от 27.04.1981 № 77/106. URL: <https://docs.cntd.ru/document/765728460>.

²⁸ Типовое положение о государственных природных национальных парках. Утверждено постановлением Госплана СССР и Госкомитета СССР по науке и технике от 27.04.1981 № 77/106. URL: <https://docs.cntd.ru/document/765728460>.

Однако следует указать, что профессия «инспектор» в отечественном природопользовании появилась гораздо раньше, с образованием в 1955 году Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР – Главохоты РСФСР²⁹. Штат центрального аппарата Главохоты формировался несколькими уровнями должностей государственных охотничьих инспекторов (госохотинспекторов) и охотоведов, а в субъектах федерации при Советах Министров были сформированы государственные охотничьи инспекции, возглавляемые на местах главными госохотинспекторами. Деятельность Главохоты РСФСР в части управления заповедным фондом была связана с обеспечением «сохранности и обогащением флоры и фауны государственных заповедников, восстановлением их природных комплексов и соблюдением заповедного режима»³⁰. В наиболее ценных охотничьих угодьях рекомендовалась организация специальной егерской службы, «для обеспечения правильной эксплуатации государственного охотничьего фонда, увеличения и улучшения охотничьих зверей и птиц». Причем самостоятельная профессия «егерь» была внесена в справочник рабочих профессий только в 1984 году в статусе «новая» с указанием трудовой функции по охране диких животных от браконьерства и полномочий по составлению протоколов на нарушителей правил и сроков охоты. В отличие от егерей, у госохотинспекторов и охотоведов, в том числе и в штате заповедников, функционал должностей требовал обязательного высшего образования.

В начале 1990-х годов работникам отделов охраны заповедников и национальных парков подтвердили статус госинспекторов по охране территорий³¹. Почти одновременно Минэкологии РФ утвердило должностные инструкции госинспекторов по охране природных заповедников³², а Минтруд России согласовал для них разряды оплаты труда и тарифно-квалификационные характеристики³³. Тождественность основных та-

²⁹ Постановление Совета Министров РСФСР от 9.08.1955 № 1004 «Об образовании Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР». URL: <https://docs.cntd.ru/document/885249470>.

³⁰ Положение о Главном Управлении охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР и его местных органах. Утверждено постановлением Совета министров РСФСР от 10.08.1956 № 555. URL: <https://docs.cntd.ru/document/885206901>.

³¹ Положение о государственных природных заповедниках в Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РСФСР от 18.12.1991 № 48. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028982>;

Положение о национальных природных парках Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 10.08.1993 № 769. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9020230>.

³² Должностные инструкции работников охраны государственных природных заповедников Минэкологии Российской Федерации. Утверждены Минэкологии России 20.02.1992. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046250>.

³³ Постановление Минтруда России от 17.12.1992 № 55 «О согласовании

рифно-квалификационных характеристик работников охраны заповедников и национальных парков была установлена гораздо позже внесением поправок в документы³⁴. Для должностей низового уровня линейки госинспекторов устанавливалось требование как минимум общего среднего образования и специальной подготовки по установленной программе; для прочих уровней было обязательно высшее образование. При пересмотре квалификационных характеристик³⁵ минимальные требования к образованию работников низовой ступени были подняты до уровня среднего специального образования в сочетании с прохождением обучения по профильной программе.

В настоящее время деятельность госинспекторов в области охраны окружающей среды на ООПТ регулируется Федеральным законом № 33-ФЗ, «Положением о федеральном государственном контроле (надзоре) в области охраны и использования ООПТ»³⁶ и Кодексом РФ об административных правонарушениях (КоАП РФ)³⁷. Фактически, деятельность госинспекторов отделов охраны ООПТ приравнивается к деятельности работников органов исполнительной власти – Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор), но при этом госинспекторы отделов охраны ООПТ не имеют статуса государственных служащих и состоят непосредственно в штате учреждений. Такое расхождение ставит госинспекторов в уникальное положение. С одной стороны, они наделены особыми полномочиями, им законом вменяется выполнение целого ряда государственных функций по обеспечению контрольно-надзорных действий для реализации заповедно-режимных мероприятий, включая оформление протоколов и вынесение решений об административных правонарушениях. Госинспекторы имеют право носить и использовать служебное оружие, оперативные группы представляют своего рода «формирования быстрого реагирования», обеспечивающие соблюдение природоохранного законодательства РФ. С другой стороны, поскольку госинспекторы официально не состоят на гражданской

разрядов оплаты труда и тарифно-квалификационных характеристик по должностям работников заповедников Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046566>.

³⁴ Постановление Минтруда России от 19.07.2001 № 57 «О согласовании изменений в постановление Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 16.10.1998 № 42». URL: <https://docs.cntd.ru/document/901798623>.

³⁵ Постановление Минтруда России от 16.10.1998 № 42 «О согласовании разрядов оплаты труда и тарифно-квалификационных характеристик по должностям работников государственных природных заповедников Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/901722722>.

³⁶ Постановление Правительства РФ от 30.06.2021 № 1090. URL: <https://docs.cntd.ru/document/607148287>.

³⁷ Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 20.12.2001 № 195-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807667>.

или военной службе, они лишены льгот и привилегий (им не присваиваются ранги и чины, не назначаются доплаты за выслугу лет и за работу в особых условиях), но при этом для них нет жестких ограничений, налагаемых государственной службой (запрет на ведение бизнеса, получение подарков и вознаграждений за услуги и т. п.), что формально допускает возможность коррупционного поведения.

В ходе профессионально-общественного обсуждения проекта ПС «Специалист в области заповедного дела» некоторые рецензенты, упуская из виду вышеуказанный факт, выступили с критикой положений ПС, касающихся характеристик и трудовых функций госинспекторов, усматривая пренебрежение Федеральным законом № 79-ФЗ³⁸ и «Положением о федеральном государственном экологическом контроле (надзоре)»³⁹, указывая на недопустимость включения в ПС квалификационных требований к госинспекторам, поскольку статья 11 Трудового кодекса РФ⁴⁰ определяет, что «...на государственных служащих и муниципальных служащих действие трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права, распространяется с особенностями...» Такую же точку зрения первоначально высказали и эксперты Минтруда России.

Со своеобразием профессионального статуса госинспектора отдела охраны ООПТ связаны пробелы в действующей системе стандартизации занятости. В составе основной группы ОКЗ «3. Специалисты среднего уровня квалификации» полностью отсутствуют группы занятий, с которыми можно было бы соотнести деятельность младшего состава госинспекторов, состоящих в штате учреждений заповедной системы. В основной группе «2. Специалисты высшего уровня квалификации» полностью подходящей категории на первый взгляд тоже нет. Директор ООПТ формально относится к начальной группе «1120. Руководители учреждений, организаций и предприятий», но его функционал, связанный с выполнением трудовых действий главного госинспектора, также сложно зафиксировать. Это было бы объяснимо в случае «молодости» профессии, но повторим, что еще в начале 1990-х годов Минтруд России, регулируя отношения в бюджетной сфере, неоднократно фиксировал тарифно-квалификационные характеристики основных должностей работников заповедников РФ, начиная от рядового госинспектора, заканчивая директором – главным госинспектором.

³⁸ Федеральный закон от 27.07.2004 № 79-ФЗ «О государственной гражданской службе Российской Федерации» (последняя редакция). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901904391>.

³⁹ Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1096 (с изм. на 23.12.2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/607148286>.

⁴⁰ Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ. Статья 11. Действие трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&id=102074279>.

Вероятно, причины указанных упущений надо искать в источниках, использованных для создания классификатора. ОКЗ входит в состав национальной системы стандартизации РФ с 1993 года. Актуальная редакция классификатора принята и введена в действие приказом Росстандарта⁴¹, она гармонизирована с Международной стандартной классификацией занятий в 2008 году (МСКЗ-08) путем «...внесения уточнений, отражающих специфику российской экономики, не нарушающих коды и границы понятий этого международного стандарта». Отметим, что в ходе адаптации содержания МСКЗ-08 к российской специфике границы понятий все же были нарушены. Неточности перевода, допущенные в названии и описании начальной группы специалистов высшего уровня квалификации «2133 – Environmental Protection Specialists» [17], превратили их в «Специалистов в области защиты окружающей среды», а их обязанности, обозначенные в оригинале как «developing conservation plans», стали «разработкой планов охраны природы и природопользования». Также в русскоязычном списке примеров профессий специалистов группы не указаны отечественные аналоги профессий Conservation officer (специалист по сохранению природы), Conservation scientist (исследователь в области сохранения природы), Park ranger (смотритель парка), что полностью исключает заповедное дело из ОКЗ. В конечном итоге, «трудности перевода» и стремление соответствовать международным системам, ориентирующимся преимущественно на европейские традиции регулирования экономической деятельности, породили ситуацию полного отсутствия традиционных заповедных профессий в российской системе стандартизации занятости, что в свою очередь привело к размещению отраслевой «ниши» заповедного дела в сфере культуры и развлечений.

Отметим, что европейский опыт организации заповедного дела кардинально отличается от отечественных традиций. В Европе долгое время не существовало единой системы ООПТ, управляемой на основе общих государственных принципов, и, соответственно, не рассматривалась необходимость определения квалификаций работников такой системы. Только с развитием на рубеже веков европейского проекта Natura 2000⁴² были определены природные объекты, нуждающиеся на территории стран Европейского союза в охране и специальном управлении, и стало формироваться представление о квалификации менеджеров объектов Natura 2000. Согласно отчету, под-

готовленному Propark Foundation for Protected Areas⁴³, для управляющего персонала ООПТ выделяется пять уровней квалификации: высший административный, старший и средний менеджер, квалифицированный работник и вспомогательный рабочий персонал. Очевидно, что подобная система организации деятельности работников главным образом ориентирована на продвижение рекреационного потенциала природных территорий.

Среди зарубежных стран к отечественным традициям наиболее близок подход организации заповедного дела в США. Сходство профессиональных задач определяется необходимостью управлять крупными по площади ООПТ и такой же длительной историей территориальной охраны природы, как и в России. Наибольшее сходство с функционалом отечественных госинспекторов показывает линейка профессиональных квалификаций Park Ranger Series – государственных служащих, включенных в General Schedule Classification System Федерального правительства США. Действующая с 1985 года актуальная редакция системы классификации государственной службы используется при определении профессиональной серии, звания, разряда и системы оплаты труда для должностей. В обязанности специалистов серии GS-0025 «Park Ranger», которая является пересмотренной версией стандарта специалистов серии управления парками «Park Management Series», опубликованной впервые в 1969 году, входит надзор, управление и выполнение задач по сохранению и использованию ресурсов федеральных парков [19]. К основным трудовым функциям рейнджеров отнесены: охрана парка, управление природными, историческими и культурными ресурсами, развитие рекреационных и просветительских программ. В обязанности включены задачи по борьбе с лесными пожарами, защите федеральной собственности, информированию посетителей, демонстрации народного творчества и ремесел, контролю посещаемости и обеспечению соблюдения законов и правил посещения, расследованию нарушений, выполнению поисково-спасательных операций. Линейка серии «Park Ranger» содержит восемь должностных уровней, требующих соответствующей квалификации, ответственности и профессионального авторитета.

Конечно, как и в других зарубежных странах, ООПТ США в первую очередь ориентированы на обеспечение рекреационной и туристской деятельности. Парковые рейнджеры – универсальные работники, сочетающие функции обеспечения охраны, эколо-

⁴¹ Приказ Росстандарта от 12.12.2014 № 2020-ст «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора занятий (ОКЗ) ОК 010-2014 (МСКЗ-08)». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121893>.

⁴² The Natura 2000 protected areas network. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/natura-2000/>.

⁴³ Technical Report A1. Identification and assessment of competencies for management of Natura. A LIFE Preparatory Project «LIFE e-Natura2000.edu: Supporting e-learning and capacity building for Natura 2000 managers» March 2019. URL: <https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2019/05/A1-Technical-Report-Identification-and-assessment-of-competencies-for-management-of-Natura-2000-.pdf>.

гического просвещения и сопровождение туризма. В отечественной традиции выполнение двух последних задач закреплено за самостоятельными подразделениями учреждений заповедной системы, в то время как госинспекторы выполняют контрольно-надзорные функции. Вместе с тем, многие эксперты в своих отзывах отмечали, что поддержка со стороны инспекторского состава необходима при реализации программ по всем основным направлениям заповедной деятельности. Поэтому при определении квалификаций госинспекторов в качестве обязательной теоретической базовой подготовки были указаны естественнонаучные (биологические, экологические) знания, к необходимым профессиональным компетенциям отнесены знания законодательных и правовых основ контрольно-надзорной деятельности в сфере охраны окружающей среды, умение пользоваться геодезическими приборами и оборудованием спутниковой навигации, использовать практические приемы биотехники, лесной и ландшафтной пирологии, фитопатологии. Общим требованием для всех заповедных профессий и для госинспектора в том числе является знание и соблюдение норм социальной и профессиональной этики.

К сожалению, в настоящее время в отечественных вузах не реализуется ни одной программы профильной подготовки госинспекторов, а в «Перечне специальностей среднего профессионального образования»⁴⁴ нет подходящих категорий для разработки программ подготовки младшего инспекторского состава. Казалось бы, специальности укрупненной группы 20.00.00 «Техносферная безопасность и природообустройство» могли бы обеспечить компетенции для некоторых трудовых функций госинспекторов, но расположение группы в разделе «Инженерное дело, технологии и технические науки» не обеспечивает необходимой базовой теоретической и практической естественнонаучной подготовки. Организация системы профильного обучения и переподготовки специалистов, способных профессионально обеспечивать защиту интересов национальной и экологической безопасности на ООПТ, – важнейшая задача, которая требует серьезного внимания и целевого финансирования.

При разработке отраслевой системы профессиональных квалификаций заповедного дела для специалистов отделов охраны ООПТ (все категории госинспекторов, кроме главного, включая госинспекторов оперативных групп) разработана единая ОТФ (табл. 1, рис. 1). Для частичного обособления функционала старшего госинспектора в нее введена индивидуальная ТФ, предусматривающая компетенции руководителя малой группы подчиненных, а также требование

⁴⁴ Перечень специальностей среднего профессионального образования. Утвержден приказом Минпросвещения России от 17.05.2022 № 336. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350761070?marker=6580IP>.

обязательного высшего образования и опыта работы. При большей детализации функционала для старших госинспекторов возможна разработка собственной ОТФ. Для руководителей учреждений, осуществляющих охрану и использование ООПТ, разработана ОТФ с включением отдельной ТФ по выполнению обязанностей главного госинспектора, в соответствии с КоАП РФ.

Требования к квалификации специалистов научного направления заповедной деятельности

Наряду с обеспечением охраны территорий, самым устойчивым во времени и важным направлением заповедного дела является научно-исследовательская деятельность. Научное направление развития отечественного заповедного дела заложил В.В. Докучаев [1], ратуя за государственное заповедание участков девственной природы с устройством на них постоянных научных станций. В первые же годы советской власти Декретом СНК РСФСР⁴⁵ «неприкосновенными памятниками природы» были объявлены территории и отдельные объекты, представляющие особую научную и культурно-историческую ценность, а управление ими было закреплено за Народным Комитетом Просвещения РСФСР (Наркомпрос). Позднее постановлением ВЦИК СНК РСФСР⁴⁶ были установлены основные категории ООПТ и определено, что заповедники организуются либо как самостоятельные научно-исследовательские учреждения, либо прикрепляются к научным учреждениям. Научная деятельность возлагалась на собственный штат научных сотрудников или на научно-исследовательские институты Наркомпроса. Наркомпросу было предписано согласовывать планы в области постоянного и всестороннего изучения природы в заповедниках и обеспечивать исследования специальными ассигнованиями.

Несмотря на неоднократные преобразования заповедной системы, статус заповедников как научно-исследовательских учреждений в советское время оставался неизменным⁴⁷. Включение в штат научных

⁴⁵ Декрет СНК РСФСР от 16.09.1921 «Об охране памятников природы, садов и парков». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=17218#dE6M04UqZpJWL1i5/>

⁴⁶ Постановление ВЦИК СНК РСФСР от 20.06.1930 «Об охране и развитии природных богатств РСФСР». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&rnd=MGpxA&base=ESU&n=23736&dst=100044&field=134#awJM04U2U3gl10Bk>.

⁴⁷ Положение о заповедниках. Утверждено постановлением ВЦИК СНК РСФСР от 01.04.1934. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&rnd=MGpxA&base=ESU&n=24402&dst=100006&field=134#CYpd04UAwhspzroC1>; Положение о государственных заповедниках на территории РСФСР. Утверждено постановлением СНК РСФСР от 15.03.1944 № 205. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?BASENODE=41-1&req=doc&cacheid=FC4407102484AD64FB203E2EF9C07FC4&mode=backrefs&rnd=wqdyQ&base=ESU&n=29046#D3tq54UuEIRGU4X41;>

Табл. 1

Профессиональные квалификации специалистов в области заповедного дела, обеспечивающих охрану и использование ООПТ

| Обобщенные трудовые функции (ОТФ) | Трудовые функции (ТФ) | Уровень квалификации/должность |
|---|---|--|
| <p>Заповедная деятельность по осуществлению государственного контроля (надзора) в области охраны и использования ООПТ (включая их охранные зоны)</p> | <p>Предупреждение, выявление и пресечение нарушений установленного режима охраны ООПТ и обязательных требований природоохранного законодательства Российской Федерации</p> <p>Выполнение комплекса мероприятий обеспечения пожарной безопасности и осуществления лесной охраны на ООПТ</p> <p>Техническая поддержка и сопровождение выполнения программ разрешенных видов использования ООПТ по всем направлениям заповедной деятельности учреждения</p> <p>Освидетельствование и документальное подтверждение выявленных на ООПТ нарушений природоохранного законодательства Российской Федерации, формирование служебной и отчетной документации, ведение служебной переписки</p> <p>Планирование и организация выполнения комплекса мероприятий государственного контроля (надзора) в области охраны и использования ООПТ группой подчиненных работников</p> | <p>ВО (бакалавриат) или СПО+ДПО и опыт работы/госинспектор, участковый госинспектор</p> |
| <p>Заповедная деятельность по использованию ООПТ в программах государственного экологического мониторинга и научных исследований в области охраны окружающей среды</p> | <p>Выполнение на ООПТ полевых работ по программам государственного экологического мониторинга, отдельным разделам (этапам, заданиям) планов научных исследований</p> <p>Организация хранения и обработки результатов наблюдений и исследований по программам использования ООПТ в научных целях</p> <p>Реализация на ООПТ природоохранных биотехнических мероприятий</p> <p>Подготовка элементов отчетной документации и научных публикаций, информационных сообщений по результатам выполнения программ использования ООПТ в научных целях</p> | <p>ВО (бакалавриат) или СПО+ДПО и опыт работы/лаборант-исследователь, стажер-исследователь в области заповедного дела</p> |
| <p>Планирование и организация заповедной деятельности по использованию ООПТ в программах государственного экологического мониторинга и научных исследований в области охраны окружающей среды</p> | <p>Планирование и осуществление программ научно-технических работ и научных исследований на ООПТ</p> <p>Разработка и научное сопровождение выполнения на ООПТ природоохранных биотехнических мероприятий</p> <p>Создание и оформление научно-технической продукции и фондов учреждения, представление и продвижение результатов заповедной деятельности по использованию ООПТ в научных целях</p> | <p>ВО (специалитет или магистратура) и опыт работы/научный сотрудник, младший и старший научные сотрудники в области заповедного дела. При наличии ученой степени без опыта работы</p> |
| <p>Планирование и организация заповедной деятельности по использованию ООПТ в программах экологического просвещения и добровольчества (волонтерства)</p> | <p>Планирование и осуществление на ООПТ заповедных просветительских программ эколого-биологической направленности в поддержку непрерывного экологического образования</p> <p>Планирование и осуществление на ООПТ добровольческих (волонтерских) мероприятий</p> <p>Создание, использование и поддержание безопасного функционирования на ООПТ объектов эколого-просветительской инфраструктуры учреждения</p> <p>Представление эколого-просветительской и добровольческой (волонтерской) заповедной деятельности в средствах массовой информации (СМИ) и социальных сетях, создание на ООПТ эколого-просветительской фото, кино и видеопродукции</p> | <p>ВО (специалитет или магистратура) и опыт работы/специалист, младший и старший специалисты по экологическому просвещению. При наличии ученой степени без опыта работы</p> |
| <p>Планирование и организация заповедной деятельности по регулированию и информационно-методическому сопровождению рекреационного и эколого-туристического использования ООПТ</p> | <p>Сбор и анализ данных для планирования рекреационного и эколого-туристического использования ООПТ, регулирование оказания услуг в области организации отдыха и экологического туризма на ООПТ</p> <p>Сопровождение создания и поддержание безопасного функционирования на ООПТ объектов рекреационной и эколого-туристической инфраструктуры учреждения</p> <p>Информационно-методическое сопровождение рекреационного и эколого-туристического использования ООПТ</p> <p>Представление заповедной деятельности по рекреационному и эколого-туристическому использованию ООПТ в СМИ, координация создания познавательной и рекламной печатной, кино, фото и видеопродукции</p> | <p>ВО (специалитет или магистратура) и опыт работы/специалист, младший и старший специалисты по организации экологического туризма. При наличии ученой степени без опыта работы</p> |

| Обобщенные трудовые функции (ОТФ) | Трудовые функции (ТФ) | Уровень квалификации/должность |
|---|--|--|
| Руководство и управление подразделениями по охране и использованию ООПТ, за исключением подразделений по использованию ООПТ в программах государственного экологического мониторинга и научных исследований | Общее руководство, координация и материально-техническое обеспечение деятельности подразделений по охране и использованию ООПТ (в пределах полномочий) Управление кадрами подразделений по охране и использованию ООПТ (в пределах полномочий) | ВО (специалист или магистратура) и опыт работы/начальники отделов охраны, экологического просвещения, организации экологического туризма на ООПТ |
| Координация и управление заповедной деятельностью ООПТ в программах государственного экологического мониторинга и научных исследований в области охраны окружающей среды | Анализ и обобщение результатов правоприменительной практики учреждения, ведение деловой коммуникации по вопросам охраны и безопасного использования ООПТ Ведение деловой коммуникации для реализации эколого-просветительских и добровольческих (волонтерских) программ на ООПТ Контроль предоставления и продвижения туристских продуктов и услуг на ООПТ, ведение деловой коммуникации по вопросам регулирования и сопровождения рекреационного и эколого-туристического использования ООПТ Определение приоритетных направлений и материально-техническое обеспечение заповедной деятельности по использованию ООПТ в научных целях Научно-методическое руководство выполнением плановых мероприятий и реализации программ использования ООПТ в научных целях, координация создания и продвижения научно-исследовательской и научно-технической продукции Ведение деловой коммуникации по вопросам реализации программ использования ООПТ в научных целях, развития научного сотрудничества экспертов и представительских функций Управление кадрами подразделения, осуществляющего заповедную деятельность по использованию ООПТ в научных целях | Начальник отдела охраны ООПТ Начальник отдела экологического просвещения на ООПТ Начальник отдела организации экологического туризма на ООПТ ВО (специалист или магистратура) и опыт работы/начальник отдела научной деятельности на ООПТ; обязательно научная степень и опыт работы/главный сотрудник научные сотрудники в области заповедного дела |
| Планирование и управление административной, хозяйственной и организационной деятельностью учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ | Планирование стратегии развития, общее руководство и управление деятельностью учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ Ведение деловой коммуникации по всем направлениям деятельности учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ, рассмотрение дел об административных правонарушениях (в пределах полномочий) Управление бюджетом, контроль расходов и эффективности использования материальных ресурсов учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ Официальное представительство учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ на мероприятиях различного уровня по всем направлениям заповедной деятельности Определение кадровой политики учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ | ВО (специалист или магистратура) и опыт руководящей работы/директор государственного учреждения, осуществляющего охрану и использование ООПТ, – главный государственный инспектор в области охраны окружающей среды на ООПТ. Рекомендуется ученая степень |

Примечания: ВО – высшее образование; СПО – среднее профессиональное образование; ДПО – дополнительное профессиональное образование.



и научно-технических сотрудников было обязательным и для национальных парков⁴⁸. Действующими в настоящее время положениями⁴⁹ заповедники объявлены природоохранными, научно-исследовательскими и эколого-просветительскими учреждениями. Для национальных парков установлен статус природоохранных учреждений, ведущих экологический мониторинг и научные исследования, направленные на разработку научных методов сохранения биологического разнообразия, природных и историко-культурных комплексов и объектов в условиях рекреационного использования. Ведение научных исследований и осуществление государственного экологического мониторинга, как основные направления деятельности всех категорий федеральных ООПТ, закреплены Федеральным законом № 33-ФЗ.

Напомним, что в 1990-е годы, когда были приняты упомянутые положения, все учреждения заповедной системы входили в область экономической деятельности ОКОНХ «Учреждения по охране природы, ведущие научную работу». Положения закрепляли выполнение научных работ штатными сотрудниками, а также научно-исследовательскими учреждениями и высшими учебными заведениями на договорных началах, по согласованным с государственными органами управления планам и программам научно-исследовательских работ. В феврале 1992 года Минэкологии России утвердило должностные инструкции штатных сотрудников⁵⁰ с обозначением линейки должностей: заместитель директора по научной работе, научные сотрудники всех рангов (главный, ведущий, старший, младший) и научно-технический персонал

Положение о Главном Управлении охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР и его местных органах. Утверждено постановлением Совета министров РСФСР от 10.08.1956 № 555. URL: <https://docs.cntd.ru/document/885206901>; Положение о государственных заповедниках РСФСР, находящихся в ведении Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР. Утверждено постановлением Совета Министров РСФСР от 05.06.1962 № 769. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9014352/>; Типовое положение о государственных заповедниках. Утверждено постановлением Госплана СССР и Госкомитета СССР по науке и технике от 27.04.1981 № 77/106. URL: <https://docs.cntd.ru/document/765728460>.

⁴⁸ Типовое положение о государственных природных национальных парках. Утверждено Постановлением Госплана СССР и Госкомитета СССР по науке и технике от 27.04.1981 № 77/106. URL: <https://docs.cntd.ru/document/765728460>.

⁴⁹ Положение о государственных природных заповедниках в Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РСФСР от 18.12.1991 № 48. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028982/>; Положение о национальных природных парках Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 10.08.1993 № 769. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9020230>.

⁵⁰ Типовые должностные инструкции сотрудников научных отделов государственных заповедников системы Минэкологии России. Утверждены Минэкологии РФ 13.02.1992. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901863142>.

(старшие лаборанты, лаборанты, таксидермисты, фенологи, препараты, ветфельдшеры, звероводы и др.). Были обозначены квалификационные требования к соискателям должностей: обязательное профильное высшее образование для научных сотрудников и научная степень для главных и ведущих специалистов; высшее, среднетехническое или среднее образование для научно-технического персонала. Тарифно-квалификационные требования по должностям научных сотрудников учреждений ООПТ определялись в соответствии с общими критериями, установленными для должностей работников науки и научного обслуживания РФ⁵¹.

Должность научного сотрудника сохранилась в перечне основного персонала учреждений ООПТ даже после перевода заповедной деятельности в сферу услуг⁵². В действующем в настоящее время перечне должностей работников⁵³ в числе прочих обозначены должности: научный сотрудник, лаборант-исследователь и лаборант, с возможностью добавления должностных наименований – главный, старший, ведущий, младший.

В соответствии с ОКЗ (ОК 010-2014 (МСКЗ-08)) занятость основного научного персонала учреждений заповедной системы (аналогично с занятостью госинспекторов) может быть соотнесена с начальной группой «2133 – Специалисты в области защиты окружающей среды». В ОКПДТР имеются названия должностей, подобные указанным в отраслевых руководящих документах, но проблема некорректного отображения заповедной отрасли в системах стандартизации промышленно-экономических отношений создает ситуацию, когда все должности ОКПДТР уже сопряжены с определенными отраслями науки, техники, медицины или промышленности, что препятствует прямому использованию названий в заповедной сфере. Поэтому при формировании отраслевой системы квалификаций традиционные наименования должностей научных отделов учреждений ООПТ приходится дополнять формулировкой, показывающей их связь с заповедной наукой (табл. 1). Для них

⁵¹ Тарифно-квалификационные требования по должностям работников науки и научного обслуживания Российской Федерации, утвержденные постановлением Минтруда России от 04.12.1992 № 48. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=10681#h307>.

⁵² Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по виду экономической деятельности «Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг», для расчета средней заработной платы... Утвержден приказом Минприроды России от 09.06.2009 № 147. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902164279#64U0IK>.

⁵³ Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по видам экономической деятельности, для расчета средней заработной платы... Утвержден приказом Минприроды России от 29.05.2020 № 317. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565281425?marker=6520IM>.

выделены ОТФ, соответствующие шестому и седьмому квалификационным уровням (рис. 1). Восьмой уровень установлен для руководителей научно-исследовательских подразделений, главных и ведущих научных сотрудников, с требованием высшего профильного образования, опыта научно-исследовательской деятельности и представления ее результатов, ученой степени кандидата или доктора наук.

Ближайшими зарубежными аналогами основных работников научных отделов учреждений заповедной системы РФ можно считать американских специалистов, которые согласно General Schedule Classification System Федерального правительства США, относятся к сериям GS-0485 «Управление заповедниками дикой природы» и GS-0486 «Биология дикой природы» группы профессий «Управление природными ресурсами и биологические науки» [20], а также к серии GS-0404 вспомогательного научного персонала «Техник по биологическим наукам» [23]. Классификационная система подробно характеризует все возможные направления деятельности в рамках групп профессий, при этом четко обособляя направления, связанные с управлением, сохранением и воспроизводством природных ресурсов федеральной системы заповедников дикой природы. К серии «Управление заповедниками дикой природы» относятся менеджеры и специалисты заповедников дикой природы, разрабатывающие программы улучшения, сохранения и поддержания состояния земель и среды обитания биологических видов в границах национальной заповедной системы. К серии «Биология дикой природы» относится профессиональная научно-исследовательская работа по сохранению, размножению, защите и управлению видами дикой природы. Биологи этой серии изучают экологию и поведение животных, разрабатывают программы их сохранения и координируют эти программы с хозяйственными планами землепользования, управления лесами и нелесными экосистемами. Вспомогательный научный персонал (лаборанты-биологи, техники-биологи) обеспечивают техническую поддержку исследований и природоохранных программ не только в полевых условиях, но и в лабораториях, что требует знаний лабораторных практик и методов.

В России основные цели ведения научной работы на ООПТ определены Федеральным законом № 33-ФЗ. Учреждения системы ООПТ осуществляют научно-исследовательскую деятельность – поисковые и прикладные исследования в области охраны окружающей среды по приоритетным направлениям, а также научно-техническую деятельность по организации и ведению государственного экологического мониторинга и формированию сведений для государственных кадастров и реестров⁵⁴. Подготовку государственного

⁵⁴ Методические рекомендации по организации научно-исследовательской и научно-технической деятельности ФГБУ, осуществляющих

задания на ведение научной деятельности и контроль его выполнения обеспечивает Минприроды России; при этом объем выполняемых многолетних наблюдений и измеряемые параметры определяются на основе особенностей природных комплексов и целей создания ООПТ. В целом научно-исследовательскую деятельность курируют два ведомства: Минприроды России и Минобрнауки России, темы и результаты исследований проходят научную экспертизу Российской академии наук. Нормативные затраты на выполнение всех видов научно-исследовательских и научно-технических работ утверждаются Минприроды России.

В штате научных отделов отечественных учреждений ООПТ традиционно работают специалисты с классическим биологическим образованием: зоологи, ботаники, геоботаники, гидробиологи, экологи, специализация которых определяется особенностями природных заповедных комплексов. В соответствии с потребностями и направлением работы конкретных учреждений в научные коллективы включаются специалисты смежных областей – метеорологи, гидрологи, охотоведы и другие. Классические университеты страны, а также некоторые педагогические вузы ранее неплохо справлялись с запросом на подготовку основных научных кадров для учреждений заповедной системы. В настоящее время развитие новых подходов и технологий исследования биоразнообразия и природных комплексов, в том числе с использованием дистанционных методов, с ведением геоинформационных баз данных, требует дополнительных профессиональных компетенций у работников. Решением может стать разработка и внедрение на основе направлений базового высшего образования «Биология» и «Экология и природопользование» специальных профильных программ, сочетающих получение классических фундаментальных знаний о живых системах с практическим опытом применения современных геоинформационных технологий и «цифровых» методов фиксации, обработки и анализа данных о биоразнообразии.

Стандартизация квалификаций специалистов эколого-просветительской и экологотуристической заповедной деятельности

Введение в штаты учреждений заповедной системы самостоятельных специалистов, отвечающих за эколого-просветительскую работу, можно считать отечественным «изобретением». Профессий, соответствующих

управление ООПТ федерального значения, находящимися в ведении Минприроды России. Утверждены распоряжением Минприроды России от 31.10.2023 № 36-р. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/_36_r_ob_utverzhenii_metodicheskikh_rekomendatsiy_po_organizatsii_nauchno_issledovatel'skoy_i_nauchn/.

щих им по функционалу, в зарубежной практике нет. В США ответственность за ведение разъяснительной и волонтерской работы на местах возложена на рейнджеров парков, а продвижение рекреационных услуг, их научное сопровождение и управление так же, как и в Евросоюзе, обеспечивают менеджеры или научные специалисты заповедников и парков дикой природы.

В советское время претворение в жизнь идей «абсолютного заповедания» было неразрывно связано с развитием экологического сознания и просвещения населения. Самостоятельная задача по созданию «необходимых условий для ознакомления с природными комплексами заповедников и результатами научно-исследовательской деятельности в них, в целях массовой культурно-просветительской работы» была впервые четко обозначена «Положением о заповедниках»⁵⁵. Природоохранное просвещение и воспитание рассматривалось в общей системе пропаганды охраны природы, действующей в СССР [10], и с этой задачей долгое время справлялись наблюдатели (госинспекторы) и научный персонал заповедников. Формы просветительской работы выбирались разные: чтение лекций, создание музеев природы и экспозиций под открытым небом с проведением там экскурсий, демонстрация ботанических и зоологических коллекций, работа со средствами массовой информации, издание научно-популярной литературы. Популяризацию идей охраны природы рекомендовалось вести «всеми доступными средствами устной, печатной и наглядной пропаганды»⁵⁶. Заповедники сотрудничали со школами, создавая школьные лесничества и «голубые патрули», обеспечивали проведение практик студентов профильных вузов и работали с производственными учреждениями. Многие из указанных форм культурно-просветительской заповедной деятельности актуальны и по сей день.

В 1940 году в целях ознакомления населения с природой заповедников на их территории была разрешена организация туризма и научных экскурсий⁵⁷. Но позднее обеспечение туризма и рекреации стало прерогативой национальных парков, которые начали создаваться в СССР с начала 1980-х годов. Первым типовым положением о государственных природных национальных парках⁵⁸ был определен штат сотрудников, в состав которых входили специальная инспек-

ция охраны, научные и научно-технические сотрудники, административно-хозяйственный персонал. Но работники, обеспечивающие деятельность по «... созданию условий для туризма и отдыха, ознакомления с природой национального парка, культурными и историческими памятниками», в штатном расписании учреждений не предусматривались.

Распоряжениями, вышедшими в начале 1990-х годов, также было закреплено разделение сфер ответственности заповедников⁵⁹ и национальных парков⁶⁰. Первым оставили задачу экологического просвещения, а для вторых предусматривалось развитие регулируемого отдыха и туризма через предоставление в аренду земельных участков, зданий и сооружений заинтересованным юридическим лицам в соответствии с утвержденными проектными материалами парка. Кроме того, национальные парки могли самостоятельно осуществлять туризм за счет средств, выделяемых из бюджета.

Тарифно-квалификационные характеристики для самостоятельных должностей начальника отдела экологического просвещения, методиста и специалиста по экологическому просвещению государственных природных заповедников и национальных парков были установлены в 2001 году внесением изменений в постановление Минтруда России⁶¹. Для всей линейки должностей было предусмотрено наличие высшего профессионального (биологического, географического, экологического, лесохозяйственного) образования, стаж работы в системе природоохранных органов или по должности (от 3 до 5 лет), дополнительная подготовка по специальности «Эколого-просветительская деятельность», а для ведущего специалиста требовалось наличие ученой степени. Но с переводом заповедной деятельности в сферу услуг в перечне основного персонала учреждений ООПТ из всей линейки просветителей остались только методисты по экологическому просвещению⁶².

В настоящее время спектр должностей вновь расширяется, главным образом за счет введения работ-

⁵⁵ Положение о заповедниках. Утверждено постановлением ВЦИК СНК РСФСР от 01.04.1934. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&rnd=MGpxA&base=ESU&n=24402&dst=100006&field=134#CYPd04UAwhspzroC1>.

⁵⁶ Положение о государственных заповедниках РСФСР, находящихся в ведении Главохоты при Совете Министров РСФСР. Утверждено постановлением Совета Министров РСФСР от 5.06.1962 № 769. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9014352/>.

⁵⁷ Положение о государственных заповедниках на территории РСФСР. Утверждено постановлением СНК РСФСР от 17.03.1940 № 159. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9014352/>.

⁵⁸ Постановление Госплана СССР и Госкомитета СССР по науке и технике от 27.04.1981 № 77/106. URL: <https://docs.cntd.ru/document/765728460>.

⁵⁹ Положение о государственных природных заповедниках в Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РСФСР от 18.12.1991 № 48 (с изм. на 23.04.1996). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028982>.

⁶⁰ Положение о национальных природных парках Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 10.08.1993 № 769. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9020230>.

⁶¹ Постановление Минтруда России от 19.07.2001 № 57 «О согласовании изменений в постановление Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 16.10.1998 № 42». URL: <https://docs.cntd.ru/document/901798623>.

⁶² Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по виду экономической деятельности «Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг», для расчета средней заработной платы... Утвержден приказом Минприроды России от 09.06.2009 № 147. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902164279#64U0IK>.

ников, ответственных за продвижение рекреационных услуг и организацию туризма. В действующем перечне должностей⁶³ значатся: методист и специалист по экологическому просвещению, специалист по развитию туризма, специалист по связям с общественностью, экскурсовод. Разработаны и утверждены специальные методические документы в поддержку ведения заповедной эколого-просветительской деятельности⁶⁴ и организации заповедного добровольчества (волонтерства)⁶⁵. Изменениями и дополнениями, внесенными Федеральным законом № 77-ФЗ, а также введением в действие профильных руководящих документов⁶⁶, определены основные задачи, критерии, особенности и правила, регулирующие организацию отдыха и туризма на ООПТ.

В ходе профессионально-общественного обсуждения проекта ПС «Специалист в области заповедного дела» некоторые эксперты рекомендовали включить в него квалификационные требования ко всем должностям отделов экологического просвещения и экологического туризма. Введение всех должностей в ПС невозможно и нецелесообразно, так как для ряда профессий (экскурсовод, специалист по связям с общественностью, инструктор-проводник) утверждены собственные ПС в профессиональных областях «Культура, искусство», «Сервис, оказание услуг населению»⁶⁷ или привычные названия должностей уже закреплены действующими классификаторами (ОКЗ, ОКПДТР, ЕКС) за другими отраслями хозяйства. Например, традиционная для отечественных учреждений ООПТ должность «методист по экологическому просвещению» закреплена за сферой дополнительного образования, и, не имея лицензии на образовательную деятельность, учреждения заповедной системы формально не должны включать в штат таких специалистов. С учетом указанных ограничений, для обособления трудовых функций основных

работников, занятых в отделах экологического просвещения и организации экологического туризма на ООПТ, в отраслевой системе квалификаций заповедного дела и в ПС используется наименование «специалист заповедного дела» с указанием конкретного направления деятельности и введены дополнительные должностные наименования «старший» и «младший». Линейки должностей включают специалистов высшего уровня квалификации и руководителей подразделений (рис. 1; табл. 1). С учетом характера выполняемых работниками трудовых действий и установленных ранее требований обязательности высшего профильного образования для ОТФ специалистов установлен седьмой уровень квалификации.

С подготовкой специалистов экологического просвещения и экологического туризма в вузах дела обстоят ничуть не лучше, чем с другими профилями заповедной деятельности. По данным общедоступных поисковых систем, созданных для поддержки абитуриентов⁶⁸, на период разработки ПС ни в одном вузе страны не объявляли набор на соответствующие профильные программы, разработанные на базе естественнонаучных направлений высшего образования («Биология», «Экология и природопользование», «География»). Две программы магистратуры подходящего профиля («Экологическое просвещение» Московского педагогического государственного университета и «Экологическая педагогика» Российского университета дружбы народов) ведутся в рамках направления «Педагогическое образование» и соответственно ориентированы на подготовку кадров для системы дополнительного образования. В рамках направления «Туризм» программы экологической направленности также почти не представлены, единственной из реализуемых в настоящее время является программа магистратуры «Инновационные технологии экологического туризма» Астраханского государственного технического университета, которая ориентирована на подготовку кадров для туристических компаний региона.

Поправки, внесенные Федеральным законом № 63-ФЗ⁶⁹ в части регулирования туризма на ООПТ, а также общий курс страны на развитие внутреннего туризма сильно повышают ответственность работников заповедной сферы и особенно работников отделов развития экологического туризма. В компетенции последних должно включаться умение выполнять оценку рекреационной емкости участков ООПТ и вести рекреационный мониторинг, на их основе планировать,

⁶³ Перечень должностей работников, относимых к основному персоналу по видам экономической деятельности, для расчета средней заработной платы... Утвержден приказом Минприроды России от 29.05.2020 № 317. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565281425?marker=65201M>.

⁶⁴ Приложение к распоряжению Минприроды России от 22.12.2020 № 37-р. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_400858/.

⁶⁵ Приложение к распоряжению Минприроды России от 5.02.2020 № 5-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564840957>.

⁶⁶ Правила организации и осуществления туризма, в том числе обеспечения безопасности туризма ООПТ федерального значения. Утверждены постановлением Правительства РФ от 21.12.2023 № 2229. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312220053>; Типовые правила организации и осуществления туризма, в том числе обеспечения безопасности туризма на ООПТ регионального и местного значения. Утверждены постановлением Правительства РФ от 21.12.2023 № 2230. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312220058>.

⁶⁷ <https://profstandart.rosmintrud.ru/>

⁶⁸ <https://vuzopedia.ru/>

⁶⁹ Федеральный закон от 23.03.2024 № 63-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об основах туристской деятельности в Российской Федерации” и отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202403230016>.

сопровождать и регулировать туристскую деятельность, обеспечивать создание и безопасное функционирование туристской инфраструктуры с учетом ограничений, налагаемых режимом особой охраны ООПТ. Для этого полученные в ходе обучения базовые естественно-научные знания, обеспечивающие понимание состава и свойств биологического и ландшафтного разнообразия, особенностей их системной организации, навыки пространственного анализа, должны сочетаться с умением оценивать и регулировать туристские потоки, анализировать спрос и обеспечивать предложение туристских услуг. Подготовку профильных специалистов экологического просвещения и экологического туризма для учреждений заповедной системы необходимо организовывать на базе естественнонаучных направлений высшего образования.

Требования к квалификации специалистов, обеспечивающих государственное управление системами ООПТ

В отраслевую систему профессиональных квалификаций заповедного дела наряду с квалификациями работников, действующих непосредственно на ООПТ, включены характеристики должностей работников государственных структур, осуществляющих координацию, методическое и консультативное сопровождение деятельности учреждений системы ООПТ. В настоящее время для федеральной заповедной системы таким учреждением является ФГБУ «Росзаповедцентр» Минприроды России.

Как было показано ранее, взлеты и падения отечественного заповедного дела тесно связаны с государственной политикой в сфере управления природными богатствами страны. Отражением этой политики можно считать создание или упразднение в ходе реформирования заповедной отрасли специальных структур, обеспечивающих разработку единых подходов ведения заповедной деятельности и централизованное управление системой ООПТ. Первой подобной структурой, уполномоченной вести работу по созданию и управлению ООПТ, можно считать отдел охраны природы Главнауки Наркомпроса РСФСР. Общепризнана роль этого учреждения по продвижению проекта создания сети заповедников в 1923–1924 годах и обеспечению их дальнейшего выживания в сложных условиях практически полного отсутствия финансирования [7].

В 1933 году заповедники были переданы Комитету по заповедникам при ВЦИК РСФСР⁷⁰, созданному для

⁷⁰ Постановление ВЦИК СНК РСФСР от 20.08.1933 «Об организации Комитета по заповедникам при Президиуме ВЦИК». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&rnd=MGpxA&base=ESU&n=20337#6qif04UVRuKyJfy2>.

«...общего направления работы заповедников РСФСР, разработки необходимых мероприятий по развитию и охране заповедников, а также для контроля за работой ведомств в отношении переданных в их ведение заповедников». Далее последовала череда реорганизаций головного органа управления заповедниками, но его обособленность сохранялась. В 1939 году Комитет был преобразован в Главное управление по заповедникам при СНК РСФСР⁷¹, положение о котором регулярно пересматривалось, вплоть до передачи в 1955 году полномочий по управлению заповедниками Главохоте.

Несмотря на постоянное внесение изменений в наименование и в учредительные документы Главного управления по заповедникам, его обязанности как головного учреждения оставались постоянными: контроль и управление работой заповедников, руководство их научно-исследовательской и организационно-хозяйственной деятельностью, разработка и представление на утверждение мероприятий по охране объектов природы, проектов организации новых и изменения границ существующих заповедников, учет лесного фонда и решение вопросов о статусе и режиме заповедности, подбор и учет работы кадров заповедников. Для выполнения поставленных задач в структуру Управления были включены научный отдел и отдел по организации территории государственных заповедников и лесокультуры. Управление имело право формировать самостоятельную смету по республиканскому бюджету РСФСР, а за Начальником Управления были закреплены права по управлению средствами. При Начальнике Управления состояла контрольно-инспекторская группа и Научный совет, рассматривающий вопросы планирования сети заповедников, установления тематики и целевых задач научной деятельности. Существование такого специализированного федерального органа на протяжении двух десятков лет сыграло исключительную роль в становлении и развитии отечественного заповедного дела⁷².

Упразднение в 1955 году Главного управления и передачу полномочий по управлению заповедниками Главохоте РСФСР можно рассматривать как признак снижения заинтересованности государства в развитии заповедной деятельности и прекращение ее прямого финансирования. Но учреждение в 1968 году в системе Главохоты РСФСР Центральной научно-исследовательской лаборатории охотничьего хозяйства и заповедников (ЦНИЛ) вывело разработку практи-

⁷¹ Постановление СНК РСФСР от 10.05.1939 № 213 «Об утверждении Положения о Главном Управлении по заповедникам при СНК РСФСР». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&rnd=79itQ&base=ESU&n=24558&dst=100010&field=134#LwLxiDUckFeNwh7u>.

⁷² Степаницкий ВБ. Заповедное дело в России: страницы и уроки истории. Доклад на Всероссийском форуме по ООПТ, 2017. URL: <https://birdsrussia.ru/news/novosti-prirodookhrannogo-dvizheniya/v-stepanitskiy-zapovednoe-delo-v-rossii-stranitsy-i-uroki-istorii/>

ческих подходов заповедной деятельности и развитие системы ООПТ на качественно новый уровень. В 1970–1980 годах в ЦНИЛ работали многие признанные корифеи заповедного дела, оставившие заметный след в мировой и отечественной науке. Не останавливаясь на персональных заслугах, упомянем только разработку научных основ развития сетей ООПТ и первой Генеральной схемы заповедников, одобренной Госпланом РСФСР в 1979 году, которая запустила процесс резкого увеличения числа и общей площади ООПТ в стране.

С началом 1990-х годов полномочия по управлению большинством заповедников перешли к Минэкологии России⁷³, за которым были закреплены задачи «...управления природно-заповедным фондом, ведения Красной книги России, организации природно-заповедного дела». Для этого в структуре министерства было создано специальное Управление заповедного дела. Самым значимым событием того времени можно назвать подготовку и введение в действие в 1995 году Федерального закона № 33-ФЗ⁷⁴, который и сегодня выполняет ключевую роль по регулированию отношений в сфере создания, охраны и использования ООПТ. В первой же редакции закона за заповедниками и национальными парками был закреплен статус юридических лиц, являющихся некоммерческими организациями с финансированием за счет средств федерального бюджета. Переход в 2000-е ознаменовался началом разнообразных «экспериментов» в сфере управления системой ООПТ РФ. Именно в эти годы была допущена потеря экономического статуса ООПТ как «учреждений по охране природы, ведущих научную работу» при размещении в ОКВЭД сначала в разделе сферы услуг, а затем в разделе сферы культуры и развлечений.

В 2017 году с целью информационно-аналитического обеспечения деятельности по организации, охране и использованию ООПТ федерального значения была создана специализированная структура Росзаповедцентр⁷⁵, который «является природоохранным, научно-исследовательским и эколого-просветительским учреждением, имеющим целью выполнение работ и оказание услуг для обеспечения осуществления Минприроды России функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулирова-

нию в области организации, охраны и использования ООПТ». Росзаповедцентр участвует в разработке проектов нормативных правовых актов, регулирующих заповедную деятельность; собирает, анализирует и обобщает материалы по итогам деятельности ФГБУ ООПТ; осуществляет обработку сведений государственного учета численности объектов животного мира на федеральных ООПТ, государственного кадастра ООПТ; участвует в подготовке документации по созданию новых и расширению существующих ООПТ; принимает участие в формировании государственных заданий для ФГБУ ООПТ.

С 2018 года Росзаповедцентр обеспечивает сопровождение и реализацию федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» национального проекта «Экология» (федеральный проект), мероприятия которого направлены на создание условий устойчивого развития системы ООПТ. За время реализации проекта создано 23 новых ООПТ, что увеличило площадь ООПТ федерального значения на 5466 тыс. га. В рамках проекта реализуется комплекс мероприятий по достижению результата «Создана система подготовки кадров для заповедной системы», для чего Росзаповедцентр разрабатывает и реализует программы дополнительного профессионального образования для работников учреждений заповедной системы, включая программы, ориентированные на новые субъекты РФ. Для формирования отраслевой системы профессиональных квалификаций заповедного дела в Паспорт федерального проекта были включены и реализованы мероприятия по разработке ПС «Специалист в области заповедного дела» и профильных программ высшего образования.

В целом профессиональная деятельность специалистов основных подразделений Росзаповедцентра близка по трудовым задачам к работе менеджеров объектов европейского проекта Natura 2000. К сфере профессиональных компетенций последних относятся вопросы планирования и разработки проектов развития системы охраняемых территорий, программ сохранения биоразнообразия, обеспечение коммуникации и сотрудничества, в том числе с местными сообществами и культурами, обеспечение осведомленности людей и экологическое просвещение.

При формировании квалификационных требований для специалистов государственных структур, осуществляющих сопровождение создания, охраны и использования системы ООПТ, установлен седьмой уровень квалификации, подготовлены описания ТФ для трех основных ОТФ. Для должностей базового уровня закреплено наименование «специалист» с указанием связи с заповедной отраслью, а также с возможностью дополнения указанием уровня «ведущий» или «главный» (рис. 1, табл. 2).

⁷³ Постановление Правительства РФ от 18.12.1992 № 996 «Об утверждении Положения о Министерстве охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102020410&backlink=1&&nd=102029699>.

⁷⁴ Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102034651>.

⁷⁵ Устав ФГБУ «Информационно-аналитический центр поддержки заповедного дела». Утвержден приказом Минприроды России от 25.04.2017 № 200. 18 с. (с изменениями от 2022 г.).

**Профессиональные квалификации специалистов, осуществляющих координацию системы ООПТ
(сопровождение создания, охраны и использования ООПТ,
координация деятельности учреждений заповедной системы)**

| Обобщенные трудовые функции (ОТФ) | Трудовые функции (ТФ) | Уровень квалификации/ должность |
|---|---|--|
| Сопровождение создания, охраны и использования ООПТ, повышение эффективности управления системой ООПТ | Организационно-методическое, информационно-аналитическое, нормативно-правовое и консультационное сопровождение создания, охраны и использования ООПТ (в пределах полномочий) | ВО (специалитет или магистратура) + ДПО или опыт работы в заповедной сфере/специалист-координатор заповедного дела (ведущий, главный) |
| | Сбор, обработка, анализ и обобщение информационных данных учреждений, осуществляющих охрану и использование ООПТ, подготовка информационно-аналитических и справочных материалов в соответствии с видами отчетности и по специальным запросам | |
| | Выявление организационных и правовых проблем в области создания, охраны и использования ООПТ, подготовка предложений по повышению эффективности управления системой ООПТ | |
| | Организация и проведение деловых и обучающих мероприятий, направленных на повышение эффективности деятельности учреждений, осуществляющих охрану и использование ООПТ | |
| Планирование и руководство деятельностью по сопровождению создания, охраны и использования ООПТ, повышению эффективности управления системой ООПТ | Планирование и общее руководство деятельностью по организационно-методическому, информационно-аналитическому, нормативно-правовому и консультационному сопровождению создания, охраны и использования ООПТ | ВО (специалитет или магистратура), опыт руководящей работы в заповедной сфере/руководитель подразделения, начальник отдела государственного учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ |
| | Координация выполнения и контроль качества подготовленных материалов и реализованных мероприятий в области создания, охраны и использования ООПТ, рассмотрение и обобщение предложений по повышению эффективности управления системой ООПТ | |
| | Управление кадрами подразделения учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | |
| Планирование и управление административной, хозяйственной и организационной деятельностью учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | Планирование стратегии развития, общее руководство и управление деятельностью учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | ВО (специалитет или магистратура) и опыт руководящей работы/директор государственного учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ |
| | Управление бюджетом, контроль расходов и использования материальных ресурсов учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | |
| | Ведение деловой коммуникации и официальное представительство учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | |
| | Определение кадровой политики учреждения, осуществляющего координацию системы ООПТ | |

Примечания: ВО – высшее образование; ДПО – дополнительное профессиональное образование.

При сравнении с ситуацией почти полного отсутствия в вузах и в средних специальных учебных заведениях программ профильной подготовки кадров для учреждений, осуществляющих непосредственное управление ООПТ, в области подготовки специалистов-координаторов, на первый взгляд, больших проблем нет. В государственных учреждениях, осуществляющих координацию, методическое и консультационное сопровождение деятельности учреждений системы ООПТ, так же как в структуре аппарата Мин-

природы России и органов государственной власти субъектов РФ, как правило, работают выпускники вузов, получившие образование по направлениям «Биология», «Экология и природопользование», «География» и другим. Но, в отсутствие четкого понимания того, как организована работа специалистов в области заповедного дела на местах, и полного необходимого объема знаний, включая современные цифровые технологии, сложно успешно обеспечивать сопровождение и координацию деятельности этих учреждений.

Требуется время для накопления опыта работы и дополнительного профессионального образования. Таким образом, наряду с разработкой профильных программ высшего образования необходима целенаправленная работа по созданию и реализации программ повышения квалификации и переподготовки по основным направлениям заповедного дела.

Заключение

Для разработки системы профессиональных квалификаций заповедного дела выполнен анализ потребностей заповедной системы России в профессиональных кадрах и проведена оценка состояния их подготовки в высших и средних профессиональных учебных заведениях страны, рассмотрен отечественный и международный опыт стандартизации заповедной деятельности. Выявлено наличие больших пробелов в способах отражения профессиональной заповедной деятельности в системах стандартизации промышленно-экономических и производственно-образовательных отношений, действующих в сфере труда и занятости РФ. Стране с признанным во всем мире огромным опытом заповедного дела необходимо урегулировать его формальную сторону. Заповедная деятельность является приоритетной при обеспечении экологической безопасности РФ, а в свете решения актуальных задач устойчивого экономического и социального роста все более значимым становится развитие экологического туризма на ООПТ как перспективное направление внутреннего и международного туризма. Соблюдать баланс между сохранением и использованием – главная задача современных специалистов заповедного дела, требующая глубокого понимания экологических и социальных аспектов деятельности, высокого уровня профессионализма и гражданской ответственности.

Широкий спектр занятости работников заповедной сферы определяет разнообразие разработанных ОТФ. Отдельные профессиональные группы работников, которые в рамках своих квалификаций решают индивидуальные задачи по охране и использованию ООПТ, задействованы в едином производственном процессе и достигают максимальной эффективности при взаимодействии друг с другом в рамках одного вида профессиональной деятельности. Квалификации всех работников заповедной сферы определяются совокупностью естественнонаучных и специальных биологических, экологических знаний, знаний в области «цифровизации», опытом их применения, компетенциями в области управления материальными ресурсами и людьми, а также личностными качествами. Наиболее общим требованием для всех уровней квалификации является знание норм природоохранного законодательства и соблюдение профессиональной этики. Кроме того, специалист в области заповедного

дела должен быть хорошим практиком и полевиком, а в новых условиях цифровой экономики должен обладать и когнитивными навыками – способностью к быстрой обработке и анализу больших объемов информации, а также умением выделять проблемные задачи, требующие скорейшего решения, порой нетрадиционным оригинальным способом.

В современных условиях приток квалифицированных кадров в любую отрасль экономики обусловлен тремя основными составляющими: пониманием будущих профессиональных обязанностей (включая профессиональные риски и предпочтения), наличием системы профильной профессиональной подготовки и высоким социальным престижем профессий отрасли. Разработанная система квалификаций и подготовленные материалы формируют конкретные представления о видах занятости работников учреждений заповедной системы России и должны обеспечить внесение должностей в действующие системы стандартизации (классификаторы) сферы труда и занятости. Положения ПС «Специалист в области заповедного дела» должны стать правовой основой разработки профильных образовательных программ высшего, среднего и дополнительного профессионального образования, а также могут быть использованы в создании измерительных материалов для проведения аттестации работников. Таким образом, достигается соблюдение двух первых условий развития отрасли.

Сложнее дело обстоит с подъемом престижа заповедного дела. Работники учреждений заповедной системы так же, как и медицинские работники или учителя, относятся к бюджетной сфере. Многие ООПТ расположены в сельских и отдаленных, часто труднодоступных, районах страны, которые испытывают общие проблемы дефицита кадров, в первую очередь, из-за неустроенности быта. Для обеспечения таких регионов медицинскими и педагогическими кадрами в стране разработаны и действуют специальные программы социальной поддержки и вводятся квоты целевого обучения. К примеру, по данным сайта «Объясняем РФ»⁷⁶ под квоту целевого обучения в медицине резервируют до 75–100% мест. Для заповедной отрасли также необходимо обеспечить разработку и внедрение программ социальной поддержки и наладить систему целевой подготовки квалифицированных специалистов, что позволит обеспечить ООПТ кадрами, а выпускников – гарантией трудоустройства.

Проблемы отрасли вряд ли будут решены до тех пор, пока не будет определен ее реальный экономический статус. Необходимо закрепить его в трудовой сфере РФ введением в раздел ОКВЭД «О. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение» нового класса с проект-

⁷⁶ <https://объясняем.рф/articles/useful/chto-takoe-tselevoe-obuchenie/>

ным названием «84.4. Деятельность в области охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности на ООПТ (заповедное дело)», либо введением нового самостоятельного раздела с указанным проектным названием. Надо внести основные должности заповедной сферы в действующие классификаторы и справочники (ЕКС, ОКПДТР), скорректировать их описание, добиться внесения поправок и дополнений в ОКЗ. В Реестре областей профессиональной деятельности Минтруда России надо открыть новую область с проектным названием «Охрана окружающей среды и заповедное дело». Все указанные предложения были поддержаны в ходе общественных слушаний по проекту ПС «Специалист в области заповедного дела» в Комиссии по экологии и устойчивому развитию Общественной палаты РФ.

В переходный период, в течение которого будет обеспечено внедрение ПС в практику заповедного дела, для завершения создания отраслевой системы профессиональных квалификаций целесообразно рассмотреть вопрос об учреждении собственного отраслевого совета по профессиональным квалификациям и создать региональную сеть органов по сертификации квалификаций.

Благодарности. Авторы благодарны коллегам из ФГБУ «Национальный парк “Куришская коса”», особенно директору А.А. Калине и заместителю директора А.А. Иванцову за неоценимую поддержку при проведении работ; руководству и сотрудникам заповедников: А.В. Павлову, Ю.А. Горшкову (Волжско-Камский), М.Ю. Федорову (Висимский), В.М. Яковлеву, Ф.Д. Учуваткину (Кроноцкий), С.А. Родионовой (Приокско-Террасный), Н.А. Цымлянскому, И.Ю. Кудрявцеву (Астраханский), В.В. Непомнящему, А.Д. Бахтиной (Хакасский), А.В. Затееву (Катунский) за предоставленные материалы и консультации. Благодарим за поддержку и советы Н.Н. Марфенина, М.В. Калякина (МГУ им. Ломоносова), В.И. Ерошенко (МГПУ), С.И. Минькова (ВНИИОЗ им. проф. Б.М. Житкова), а также всех активных участников профессионально-общественного обсуждения проекта профессионального стандарта. Выражаем признательность за профессиональные консультации директору Центра развития профессиональных квалификаций ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России О.М. Зайцевой, доценту кафедры философии науки и техники ГАУГН В.В. Лецинской, заместителю председателя СПК в сфере гостеприимства Ю.В. Ушанову.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Докучаев ВВ. Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом под руководством профессора Докучаева. СПб.; 1895.
2. Ефимова СА. Национальная система квалификаций Российской Федерации как фактор модернизации оценки и аттестации в профессиональном образовании. Современная высшая школа: инновационный аспект. 2016;8(2):39-48.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова; 2023.
4. Олейникова ОН, Муравьева АА, Аксенова НМ. Национальная система квалификаций: концептуальные и методические основы в контексте нерешенных проблем. Образование и наука. 2018;20(6):70-89.
5. Реймерс НФ, Штильмарк ФР. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль; 1978.
6. Саксонов СВ, Сенатор СА, Новикова ЛА. Заповедное дело России в XIX–XXI вв. (хроника важнейших событий). Тольятти: Кассандра; 2017.
7. Скрипко ЕА. Организация охраны природы в Советской России (1919–1924 гг.). Вестник РГГУ. Серия «Литературоведение. Языковедение. Культурология». 2017;(8):73-81.
8. Соловьев АН. Заповедание территорий в аспекте природопользования. М.: КМК; 2020.
9. Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации. М.: Минприроды России; 2014.
10. Христофорова НК, Бисикалова ВН. Заповедники России: история становления экологического просвещения. Вестник Дальневосточного отд. РАН. 2007;(3):73-6.
11. Чибилев АА. Заповедное дело России: от прошлого к будущему. Антропогенная трансформация природной среды. 2020;(6):6-16.
12. Чибилев АА. Истоки современных проблем заповедного дела в России. Карельский науч журн. 2016;5(3):89-95.
13. Шичкова ЕВ, Абрамов СВ. Охрана территории Алтайского государственного заповедника. История становления и особенности современного этапа. Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2020;(2):142-54.

14. Штильмарк ФР. Заповедное дело России: теория, практика, история. Избранные труды. М.: КМК; 2014.

Общий список литературы/Reference List

1. Dokuchayev VV. Trudy Ekspeditsii, Snaryazhennoy Lesnym Departamentom pod Rukovodstvom Professora Dokuchayeva. Saint Petersburg.; 1895. (In Russ.)
2. Yefimova SA. [National system of qualifications of the Russian Federation as a factor in the modernization of assessment and certification in vocational education]. *Sovremennaya Vysshaya Shkola Innovatsionnyi Aspekt*. 2016;(8)2:39-48. (In Russ.)
3. O Sostoyanii i ob Ohrane Okruzhayushchej Sredy Rossiyskoy Federatsii v 2022 Godu. Gosudarstvennyj Doklad. Moscow: Minprirody Rossii; MGU im. M.V. Lomonosova; 2023. (In Russ.)
4. Oleynikova ON, Muravyeva AA, Aksenova NM. [National qualifications Frameworks: conceptual and methodological principles in the context of unresolved issues]. *Obrazovaniye i Nauka*. 2018;20(6):70-89. (In Russ.)
5. Reymers NF, Shtilmark FR. *Osobo Ohraniyemye Prirodnye Territorii*. Moscow: Mysl; 1978. (In Russ.)
6. Saksonov SV, Senator SA, Novikova LA. *Zapovednoe Delo Rossii v XIX–XXI vv. (Hronika Vazhneyshikh Sobytiy)*. Togliatti: Cassandra; 2017. (In Russ.)
7. Skripko YeA. [Organization of nature protection in Soviet Russia (1919–1924)]. *Vestnik RGGU Ser Literaturovedeniye Yazykoznaniiye Kulturlogiya*. 2017;(8):73-81. (In Russ.)
8. Solovyev AN. *Zapovedaniye Territoriy v Aspekте Prirodopolzovaniya*. Moscow: KMK; 2020. (In Russ.)
9. *Strategiya i Plan Deystviy po Sokhraneniyu Biologicheskogo Raznoobraziya Rossiyskoy Federatsii*. Moscow: Minprirody Rossii; 2014. (In Russ.)
10. Khristoforova NK, Bisikalova VN. [Reserves of Russia: history of development of ecologic education]. *Vestnik Dalnevostochnogo Otdeleniya RAN*. 2007(3):73-6. (In Russ.)
11. Chibilev AA. [Russian reserve management: from the past to the future]. *Antropogennaya Transformatsiya prirodnoy Sredy*. 2020;(6):6-16. (In Russ.)
12. Chibilev AA. [Origins of current problems of reserve management and studies in Russia]. *Karelskiy Nauchnyi Zhurnal*. 2016;5(3):89-95. (In Russ.)
13. Shichkova YeV, Abramov SV. [Protection of the Altaysky State Nature Reserve. History of formation and features of the modern period]. *Polevye Issledovaniya v Altayskom Biosfernom Zapovednike*. 2020;(2):142-54. (In Russ.)
14. Shtilmark FR. *Zapovednoye Delo Rossii: Teoriya, Praktika, Istoriya. Izbrannye Trudy*. Moscow: KMK; 2014. (In Russ.)
15. Allais S. Labour market outcomes of national qualifications frameworks in six countries. *J Educat Work*. 2016;30(5):457-70.
16. Brain S. The Destruction of the Zapovedniki Revisited. *Stud Hist Biol*. 2012;4(1):57-72.
17. International Standard Classification of Occupations: ISCO-08. International Labour Office, Geneva: ILO; 2012.
18. Mikulec B, Ermenc KS. Slovenian qualifications framework: From global trends and European recommendations to the Slovenian qualifications framework act. *J Contemp Educat Stud*. 2017;68(1):68-83.
19. Position Classification Standard for Park Ranger Series, GS-0025. U.S. Office of Personnel Management; 1985.
20. Professional Work in the Natural Resources Management and Biological Sciences Group, 0400. U.S. Office of Personnel Management; 2005.
21. Raffe D. What is the evidence for the impact of National Qualifications Frameworks? *Compar Educat*. 2013;49(2):143-62.
22. Roe AD. *Into Russian Nature: Tourism, Environmental Protection, and National Parks in the Twentieth Century*. New York: Oxford Academic; 2020.
23. Biological Science Technician Series, GS-0404. U.S. Office of Personnel Management; 1991.

ФАКТОРЫ ПЕРЕДАЧИ БОЛЕЗНЕЙ ЧЕРЕЗ ВОДУ В УСЛОВИЯХ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ВЗРЫВА В СТРАНАХ АФРИКИ

А.М. Жамбиков

Институт Африки РАН, Москва, Россия

Эл. почта: aleksandrzhambikov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21.08.2024; принята к печати 16.10.2024

Проанализировано влияние различных факторов, включая антропогенные, на загрязнение гидросферы патогенной микрофлорой в странах Африки. Актуальность этой проблемы обусловлена стремительным ростом населения континента и его урбанизацией вследствие демографического взрыва. Отмечено, что в число наиболее распространенных связанных с водой или с ее недостатком заболеваний входят, прежде всего, холера, брюшной тиф, гепатит А, амебная и бактериальная дизентерия, трахома, аскаридоз, трихоцефалез, анкилостомоз и шистосомоз. Применительно к передаче болезней через воду выявлено, что неблагоприятная санитарно-эпидемиологическая обстановка вызвана комбинацией ряда факторов. Среди них – отсутствие у существенной части населения доступа к чистой воде и современным санитарным помещениям, средняя или высокая плотность населения, влажный, реже полувлажный климат. Выделена группа наиболее «проблемных» с точки зрения заражения водоемов стран Африки. При отсутствии туалетов или применении их примитивных разновидностей патогены «вымываются» дождями и попадают в гидросферу, загрязняя водоемы и другие источники воды, которые нередко используются населением без предварительной водочистки, что приводит к инфицированию людей, а также к возникновению эпидемий. Обеспечение здоровья населения является приоритетом, а обеспечение жителей безопасной водой и современными средствами санитарии – ключевой задачей для стран Африканского континента, которая требует современных технологических решений, учитывающих местную специфику и устойчивость ряда патогенов к химическим дезинфицирующим веществам. В этих условиях возможно международное сотрудничество между Российской Федерацией и странами Африки в области обеспечения надлежащих санитарных условий благодаря наличию в распоряжении отечественных ученых передовых разработок.

Ключевые слова: вода, болезни, загрязнение, патогены, санитария.

FACTORS OF WATERBORNE TRANSMISSION OF DISEASES UNDER CONDITIONS OF DEMOGRAPHIC EXPLOSION IN AFRICAN COUNTRIES

A.M. Zhambikov

Institute for African Studies of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Email: aleksandrzhambikov@gmail.com

The influence of various factors, including anthropogenic ones, on hydrosphere pollution with pathogenic microflora in African countries is evaluated. The importance of this problem is determined by rapid population growth and urbanization in Africa resulting from demographic explosion. The most prevalent diseases associated with water or its deficit are cholera, typhoid fever, hepatitis A, amebic and bacillary dysentery, trachoma, ascariasis, trichuriasis, ancylostomiasis and schistosomiasis. Unfavorable sanitary and epidemical conditions are caused by a combination of the lack of access to clean water and modern sanitary facilities for a significant proportion of population with a medium or high population density and humid or, less likely, semi-humid climate. The group of African countries that are the most problematic in this regard is distinguished. When lavatories are primitive or absent altogether, pathogens are “washed out” with rainwater, get into the hydrosphere, and pollute water bodies and other water sources, which are often utilized by population without preliminary water purification. This causes human infection as well as eruptions of epidemics. Public health being a priority, supplying population with safe water is a key mission for countries in African. This requires modern technical solutions accounting for local specifics and for resistance of a group of pathogens to chemical disinfectants. Under these conditions, it is possible to develop cooperation between the Russian Federation and African countries in ensuring better sanitary conditions based on advances achieved by Russian scientists.

Keywords: water, diseases, pollution, pathogens, sanitation.

Введение

Одной из серьезных проблем биосферы в условиях роста населения планеты является загрязнение водоемов патогенной микрофлорой. Речь пойдет как о передаче болезней через воду, так и об их распростране-

нии из-за антисанитарии, возникающей в результате дефицита безопасной воды вследствие непригодности водоемов для бытового и хозяйственного использования из-за заражения. Особенно остро эта проблема стоит на Африканском континенте, который столк-

нулся с демографическим взрывом позже других частей света и по сей день характеризуется высокими темпами прироста населения.

В Африке, по состоянию на 2023 год, проживало около 1480 млн человек, что составило 18,2% населения Земного шара¹. Прирост населения по континенту в тот же период был равен 2,3%, что почти в 2,5 раза выше среднемирового показателя (0,9%)². На этом основании можно утверждать, что в Африку сместился центр мирового демографического роста, а при сохранении нынешних тенденций удельный вес континента в населении планеты будет составлять 21% в 2035 году и 26% – в 2050 году [1, с. 8]. При этом площадь континента – 30,3 млн км² (с островами)³, это 20,3% суши⁴. Далеко не все территории Африки заселены. Так, например, пустыня Сахара, занимающая примерно ¼ континента, для проживания практически не пригодна. Как следствие, население распределено по странам и регионам Африки довольно неравномерно.

Не обошел стороной Африканский континент и тренд урбанизации – переселение населения из сельской местности в города. Средний по Африке уровень урбанизации оценивается в 45% с большим разбросом по странам: от 91% в Габоне до 14,8% в Бурунди⁵. Из 100 крупнейших в мире городских агломераций в Африке расположены 13: Каир (Египет, 22,6 млн жителей), Йоханнесбург (ЮАР, 15,5 млн), Лагос (Нигерия, 14,5 млн), Киншаса (ДР Конго, 13,5 млн), Луанда (Ангола, 10,9 млн), Дар-эс-Салам (Танзания, 7,9 млн), Онич (Нигерия, 7,2 млн), Аддис-Абеба (Эфиопия, 7,2 млн), Хартум (Судан, 7,1 млн), Найроби (6,9 млн), Аккра (Гана, 5,8 млн), Абиджан (Кот-д'Ивуар, 5,8 млн), Александрия (Египет, 5,5 млн)⁶.

Скученность в проживании населения порождает проблемы, связанные с водопользованием, которые сводятся к двум основным: снабжение населения водой (в том числе пригодной для питья и безопасной для хозяйственного использования) и его обеспечение канализацией (в идеале, с очисткой сбрасываемой

воды). Утвержденная ООН цель устойчивого развития № 6 предусматривает обеспечение доступности и устойчивого управления водой и санитарными средствами для всего населения Земного шара в период с 2015 по 2030 год⁷.

Методология

Цель настоящей работы – анализ факторов влияния, включая антропогенное, на санитарно-эпидемиологическую обстановку в странах Африки путем сопоставления показателей, систематизированных в таблицы.

Сведения о доступе домохозяйств стран Африки к источникам воды и к канализации, а также о численности населения размещены на официальном сайте Международного чрезвычайного фонда помощи детям при ООН (ЮНИСЕФ)⁸. Плотность населения рассчитана делением численности населения⁹ в стране на площадь территории¹⁰. Показатель среднегодового выпадения осадков по странам Африки обнародован группой Всемирного банка. Информация о заболеваемости холерой и смертности от нее, как и о числе заразившихся брюшным тифом опубликована Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)¹¹. Данные о распространении амебиаза представлены в [10]. Основные районы распространения трахомы указаны на сайте американской НПО «Глобальная инициатива по борьбе с трахомой»¹². Данные о распространении гельминтозов приведены в исследовании «Распространенность и интенсивность передаваемых через почву гельминтных инвазий у детей в странах Африки южнее Сахары: геопространственный анализ», проведенном многонациональным авторским коллективом [20, с. 56].

На основании данных, изложенных в таком порядке, выявлены страны с неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановкой, выделены факторы, способствующие распространению патогенной микрофлоры, оценено, как именно они влияют на антропогенное загрязнение гидросферы и передачу заболеваний. Показатели, влияние которых на распространение болезней не удалось установить (например, уровень урбанизации), исключены из текста и таблиц во избежание их чрезмерного усложнения.

¹ Total population: Africa, World. United Nations Population Division. <https://population.un.org/dataportal/data/indicators/49/locations/903,900/start/2023/end/2023/table/pivotbylocation?df=6d443c1d-89e3-4345-9a94-4f94e6e63cef>.

² Rate of population change: Africa, World. United Nations Population Division. <https://population.un.org/dataportal/data/indicators/51/locations/903,900/start/2023/end/2023/table/pivotbylocation?df=6d443c1d-89e3-4345-9a94-4f94e6e63cef>.

³ Африка. Большая российская энциклопедия. <https://bigenc.ru/c/afrika-0897b5>.

⁴ Земля. Большая российская энциклопедия. <https://bigenc.ru/c/zemlia-b173fe>.

⁵ Galal S. Urbanization rate in Africa in 2023, by country. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1223543/urbanization-rate-in-africa-by-country/>.

⁶ Demographia World Urban Areas. <http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>.

⁷ Goal 6. Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. United Nations Department of Social and Economic Affairs. <https://sdgs.un.org/goals/goal6>.

⁸ Drinking water, sanitation and hygiene in households by country 2000–2022. https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/07/JMP_WASH_HH_2023_data_by_country.xlsx.

⁹ Ibid.

¹⁰ Largest Countries in the World. World Population Review. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/largest-countries-in-the-world>.

¹¹ Typhoid reported cases and incidence. World Health Organisation. <https://immunizationdata.who.int/global/wiise-detail-page/typhoid-reported-cases-and-incidence>.

¹² Map. Trachoma Atlas. <https://atlas.trachomadata.org/>.

Факторы антропогенного загрязнения гидросферы патогенами

Одним из основных направлений деятельности в целях предотвращения инфицирования является обеспечение доступа населения к чистой воде, санитарным помещениям и распространение практик гигиены (в первую очередь – мытье рук). ВОЗ отмечает, что странами Африки по этим направлениям был достигнут существенный прогресс, который, однако, недостаточен для достижения целей устойчивого развития к 2030 году¹³.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что большинство стран Африки продолжают испытывать проблемы с обеспечением населения безопасной водой. При этом наихудшая ситуация имеет место в ряде наименее развитых стран Африки южнее Сахары. Распространение современных санитарных помещений в большинстве стран Африканского континента слабое. Наиболее отстает в этом отношении группа наименее развитых стран Тропической Африки.

Вышеизложенные данные свидетельствуют о серьезных проблемах стран Африки в обеспечении населения водой и санитарными удобствами, что создает условия для загрязнения гидросферы патогенными микроорганизмами и, как следствие, для распространения опасных болезней. Особенно неблагоприятная ситуация имеет место при обеспечении населения современными санитарными средствами: значительная часть населения использует примитивные туалеты, которые не обеспечивают санитарную безопасность и загрязняют гидросферу (особенно в сезон дождей), а небольшая часть не имеет туалетов вовсе и практикует дефекацию на открытой местности.

В контексте изучения передачи через воду болезней представляется целесообразным также рассмотреть показатели выпадения осадков в странах Африки. Рассмотрение годового уровня осадков (в мм) в дальнейшем позволит подтвердить или опровергнуть гипотезу о том, что влажный климат способствует распространению патогенной микрофлоры, в частности, в гидросфере.

В зависимости от объема выпадения осадков в год выделяют четыре климатических зоны: аридная (менее 200 мм осадков в год), полуаридная (200–400 мм), полувлажная (400–800 мм) и влажная (более 800 мм) [11, с. 2064]. Как следует из табл. 1 в аридной зоне находятся пять государств, в полуаридной – девять, в полувлажной – восемь, во влажной – 32.

¹³ Unsafe water, sanitation and hygiene are key drivers of epidemics in the African Region. World Health Organisation. https://files.who.int/afahobckpcontainer/production/files/iAHO_WASH_Regional_Factsheet.pdf.

Классификация болезней, связанных с водой

Существуют различные пути передачи инфекционных заболеваний. Заражение может происходить при непосредственном контакте между людьми, воздушным и воздушно-капельным путем, через воду, пищу, предметы и векторным путем (через укусы насекомых)¹⁴. Одним из ключевых факторов смертности являются заболевания, передающиеся через воду. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), только от диарейных заболеваний ежегодно погибает 1 млн человек (причем наибольшая смертность отмечена в Африке)¹⁵. Для сравнения, численность погибших от передающихся векторным путем болезней по миру оценивается в 700 тыс. человек¹⁶.

Важной задачей обеспечения общественного здравоохранения в числе прочих является искоренение или сведение к минимуму передачи болезней, в том числе через воду. Речь идет о широком круге болезней, в частности, распространяющихся из-за недостатка чистой воды.

Нигерийские биологи [15, с. 3] подразделяют связанные с водой и санитарией заболевания, эндемичные для Африки южнее Сахары, на следующие категории. К «болезням, передающимся через воду», отнесены холера, тиф, гепатит А, амебиаз, лямблиоз и дракункулез. В число «болезней, ассоциирующихся с недостаточной гигиеной», включены бактериальная дизентерия, энтеровирусная диарея, паратиф, энтеробиоз, чесотка, педикулез, трахома и конъюнктивит. Как «болезни, связанные с неадекватной санитарией», фигурируют аскаридоз, трихоцефалез и анкилостомоз. Наконец, шистосомоз классифицируется как «болезнь, часть цикла которой проходит в воде».

Холера

Холера – острое диарейное заболевание, которое при отсутствии лечения может через несколько часов закончиться смертельным исходом. Вызывается попаданием в организм зараженных пищевых продуктов или воды¹⁷. Опасность холеры связана с ее высокой заразностью, что чревато риском эпидемий.

По сведениям ВОЗ, с начала 2022 года распространение холеры в различной степени затронуло 18 стран Африки. Всего заразилось более 381 тыс. чел., погибло 6733 чел. (смертность – 1,8%). Эпидемии вспыхнули

¹⁴ Methods of disease transmission (infographic). National Geographic. <https://education.nationalgeographic.org/resource/methods-disease-transmission/>

¹⁵ Water, sanitation and hygiene: burden of disease. World Health Organisation. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/water-sanitation-and-hygiene-burden-of-disease>.

¹⁶ Vector-borne diseases. World Health Organisation. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>.

¹⁷ Холера. Всемирная организация здравоохранения. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cholera>.

Численность и плотность населения, уровень доступа к воде и к санитарным помещениям по странам Африки, 2022 год, среднее выпадение осадков по странам Африки, 2020 год

| Страна | Численность населения, млн чел. | Средняя плотность населения, чел. на 1000 км ² | Доступ к воде | | | | Доступ к санитарным помещениям | | | | Выпадение осадков, мм в год |
|-----------------------|---------------------------------|---|----------------|--------------|-------------|------------|--------------------------------|--------------|-------------|----------------------|-----------------------------|
| | | | Базовый и выше | Ограниченный | Минимальный | Из водоёма | % домохозяйств | | | | |
| | | | | | | | Базовый и выше | Ограниченный | Минимальный | «Открытая дефекация» | |
| Алжир | 44,9 | 18,9 | 95 | 5 | <1 | <1 | 86 | 11 | 3 | <1 | 89 |
| Ангола | 35,6 | 28,6 | 58 | 9 | 19 | 14 | 52 | 22 | 9 | 17 | 1010 |
| Бенин | 13,4 | 116,8 | 67 | 8 | 22 | 3 | 19 | 20 | 12 | 49 | 1039 |
| Ботсвана | 2,6 | 4,5 | 93 | 5 | 2 | <1 | 81 | 5 | 9 | 5 | 416 |
| Буркина-Фасо | 22,7 | 82,8 | 50 | 29 | 21 | <1 | 25 | 33 | 8 | 34 | 748 |
| Бурунди | 12,9 | 464,0 | 62 | 19 | 15 | 4 | 46 | 13 | 40 | 1 | 1274 |
| Габон | 2,4 | 9,0 | 87 | 8 | 3 | 2 | 50 | 29 | 19 | 2 | 1831 |
| Гамбия | 2,7 | 238,9 | 86 | 8 | 6 | <1 | 48 | 12 | 40 | <1 | 836 |
| Гана | 33,5 | 140,5 | 88 | 6 | 2 | 4 | 29 | 45 | 10 | 17 | 1187 |
| Гвинея | 13,9 | 56,5 | 71 | 12 | 8 | 8 | 31 | 29 | 33 | 7 | 1651 |
| Гвинея-Бисау | 2,1 | 58,2 | 62 | 15 | 22 | <1 | 28 | 18 | 46 | 8 | 1577 |
| Джибути | 1,1 | 47,4 | 76 | 15 | 7 | 2 | 67 | 7 | 10 | 16 | 220 |
| ДР Конго | 99 | 42,4 | 35 | 24 | 33 | 8 | 16 | 18 | 54 | 12 | 1543 |
| Египет | 111 | 110,8 | 99 | <1 | <1 | <1 | 98 | 2 | <1 | <1 | 18 |
| Замбия | 20 | 26,6 | 68 | 6 | 19 | 7 | 36 | 22 | 36 | 6 | 1020 |
| Зимбабве | 16,3 | 41,7 | 62 | 15 | 16 | 7 | 35 | 31 | 17 | 17 | 657 |
| Кабо-Верде | 0,6 | 150,0 | 90 | 7 | 3 | <1 | 82 | 7 | 2 | 9 | 228 |
| Камерун | 27,9 | 58,7 | 70 | 14 | 12 | 4 | 43 | 17 | 36 | 4 | 1334 |
| Кения | 54 | 93,0 | 63 | 9 | 9 | 19 | 37 | 24 | 33 | 6 | 630 |
| Коморские острова | 0,8 | 421,1 | 80 | 11 | 9 | <1 | 36 | 13 | 51 | – | 900 |
| Конго | 5,8 | 17,0 | 74 | 10 | 9 | 6 | 21 | 34 | 37 | 8 | 1646 |
| Кот-д'Ивуар | 28,2 | 87,4 | 73 | 8 | 13 | 6 | 37 | 27 | 15 | 21 | 1348 |
| Лесото | 2,3 | 75,9 | 74 | 11 | 10 | 5 | 50 | 21 | 13 | 16 | 788 |
| Либерия | 5,3 | 47,6 | 75 | 10 | 5 | 10 | 23 | 26 | 16 | 35 | 2391 |
| Ливия | 6,8 | 3,9 | >99 | <1 | <1 | <1 | 92 | 7 | <1 | <1 | 56 |
| Маврикий | 1,3 | 650,0 | >99 | <1 | <1 | <1 | 95 | 4 | <1 | <1 | 2041 |
| Мавритания | 4,7 | 4,6 | 78 | 9 | 13 | <1 | 56 | 10 | 8 | 26 | 92 |
| Мадагаскар | 29,6 | 50,4 | 53 | 5 | 31 | 11 | 15 | 21 | 30 | 34 | 1513 |
| Малави | 20,4 | 172,2 | 72 | 21 | 5 | 2 | 49 | 26 | 22 | 3 | 1181 |
| Мали | 22,6 | 18,2 | 84 | 5 | 11 | <1 | 50 | 17 | 28 | 5 | 282 |
| Марокко | 37,5 | 84,0 | 87 | 2 | 11 | <1 | 88 | 2 | 10 | <1 | 346 |
| Мозамбик | 33 | 41,3 | 63 | 10 | 17 | 10 | 37 | 5 | 38 | 20 | 1032 |
| Намибия | 2,6 | 3,2 | 86 | 7 | 4 | 3 | 36 | 13 | 14 | 37 | 285 |
| Нигер | 26,2 | 20,7 | 49 | 20 | 28 | 3 | 16 | 10 | 9 | 65 | 151 |
| Нигерия | 218,6 | 236,6 | 80 | 4 | 11 | 5 | 47 | 16 | 19 | 18 | 1150 |
| Руанда | 13,8 | 524,7 | 65 | 20 | 10 | 5 | 74 | 14 | 10 | 2 | 1212 |
| Сан-Томе и Принсипи | 0,2 | 200,0 | 77 | 20 | <1 | 2 | 48 | 6 | 4 | 42 | 3200 |
| Сейшельские острова | 0,1 | 250,0 | 96 | <1 | 4 | – | >99 | <1 | <1 | <1 | 2330 |
| Сенегал | 17,3 | 88,0 | 86 | 3 | 11 | <1 | 60 | 17 | 15 | 8 | 686 |
| Сомали | 17,6 | 27,6 | 58 | 29 | 12 | 1 | 41 | 17 | 21 | 21 | 282 |
| Судан | 46,7 | 24,9 | 65 | 29 | 4 | 2 | 37 | 8 | 38 | 17 | 250 |
| Сьерра-Леоне | 8,6 | 118,9 | 65 | 7 | 17 | 11 | 23 | 35 | 26 | 16 | 2526 |
| Танзания | 65,5 | 69,1 | 61 | 16 | 11 | 12 | 31 | 19 | 44 | 6 | 1071 |
| Того | 8,8 | 154,9 | 71 | 6 | 13 | 10 | 19 | 28 | 14 | 39 | 1168 |
| Тунис | 12,4 | 75,8 | 97 | 2 | 1 | <1 | 97 | 2 | <1 | <1 | 207 |
| Уганда | 47,3 | 195,8 | 59 | 25 | 11 | 5 | 21 | 17 | 58 | 4 | 1180 |
| ЦАР | 5,6 | 9,0 | 36 | 27 | 34 | 3 | 14 | 16 | 45 | 25 | 1343 |
| Чад | 17,7 | 13,8 | 52 | 13 | 28 | 7 | 13 | 5 | 19 | 63 | 322 |
| Экваториальная Гвинея | 1,5 | 53,6 | 65 | 3 | 26 | 6 | 66 | 10 | 21 | 3 | 2156 |
| Эритрея | 3,4 | 28,0 | 52 | 18 | 13 | 17 | 12 | 10 | 11 | 67 | 384 |
| Эсватини | 1,2 | 69,0 | 73 | 11 | 7 | 9 | 64 | 22 | 14 | <1 | 788 |
| Эфиопия | 123,3 | 108,5 | 52 | 28 | 16 | 4 | 9 | 8 | 65 | 18 | 848 |
| ЮАР | 59,9 | 49,1 | 94 | 3 | 1 | 2 | 78 | 14 | 8 | <1 | 495 |
| Южный Судан | 10,9 | 16,8 | 41 | 37 | 14 | 8 | 16 | 9 | 15 | 60 | 900 |

Источники: Drinking water, sanitation and hygiene in households by country 2000–2022, 05.07.2023. https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/07/JMP_WASH_NH_2023_data_by_country.xlsx, Average precipitation in depth (mm per year) – Africa. World Bank Group. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRPC.MM?locations=A9>.

Примечание: Под базовым уровнем доступа к воде подразумевается доступность очищенной воды при условии, что на ее получение расходуется менее 30 минут, включая стояние в очереди и путь туда-обратно. Ограниченный уровень предусматривает то же самое, но если на получение воды расходуется более 30 минут. Минимальный уровень предусматривает забор воды из колодца или источника без предварительной очистки. Базовый уровень доступа к санитарии – использование современных санузлов по одному на домохозяйство, ограниченный – по одному санузлу на несколько домохозяйств. Минимальный уровень санитарии предполагает пользование для санитарных нужд выгребными ямами, «подвесными» туалетами или ведрами. Так называемая «открытая дефекация» – дефекация на открытой местности, практикуется при полном отсутствии туалетов, даже примитивных.

Случаи заболевания холерой и смерти от нее в Африке^{1*} с 1 января 2022 по 31 мая 2024 года

| Страна | Число заболевших | Число смертельных случаев | Уровень смертности, % |
|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
| ДР Конго | 88 403 | 1020 | 1,2 |
| Малави | 59 370 | 1772 | 3,0 |
| Мозамбик | 48 749 | 178 | 0,4 |
| Эфиопия | 48 572 | 605 | 1,2 |
| Зимбабве | 34 373 | 715 | 2,1 |
| Нигерия | 28 337 | 739 | 2,6 |
| Замбия | 23 279 | 741 | 3,2 |
| Камерун | 20 650 | 484 | 2,3 |
| Кения | 12 610 | 208 | 1,6 |
| Коморские острова | 7941 | 126 | 2,4 |
| Танзания | 4123 | 71 | 1,7 |
| Бурунди | 1889 | 11 | 0,6 |
| Южный Судан | 1471 | 2 | 0,1 |
| ЮАР | 1401 | 47 | 3,4 |
| Уганда | 158 | 14 | 8,9 |
| Республика Конго | 63 | 0 | 0 |
| Эсватини | 2 | 0 | 0 |
| Того | 1 | 0 | 0 |
| Всего | 381 392 | 6733 | 1,8 |

* Источник: Monthly Cholera Bulletin: 1 June 2024. World Health Organisation. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/378208/AFRO-Cholera%20Monthly%20Bulletin-June%202024.pdf>.

¹ * Страны Африки, кроме Джибути, Египта, Ливии, Марокко, Сомали, Судана и Туниса. WHO. <https://espen.afro.who.int/regions/who-african-region-afro>

в ДР Конго, Малави, Мозамбике, Эфиопии, Зимбабве, Нигерии, Замбии, Камеруне, Кении и на Коморских островах. Вспышки холеры также имели место в Танзании, Бурунди, Южном Судане, ЮАР, Уганде и Республике Конго. Единичные случаи имели место в Эсватини и Того¹⁸. Подробная информация о распространении холеры в странах Африки приведена в табл. 2.

Распространение холеры в большинстве стран Африки носит сезонный характер. В основном вспышки этой болезни происходят в сезон дождей при средних климатических температурах [18, с. 837]. Однако, по информации специалистов Ростовского противочумного института, в одних случаях переполнение канализации и загрязнение питьевой воды холерной бациллой вызвали сильные дожди, в других – засушливая погода приводила к потреблению воды из загрязненных водоемов [6, с. 90]. Вакцины от холеры применяются преимущественно в районах ее распространения. Срок действия прививки составляет два года, остаточный иммунитет сохраняется в срок до пяти лет¹⁹.

¹⁸ Cholera Cases and Deaths in WHO African Region 1 January 2022 to 31 May 2024. World Health Organisation. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/378208/AFRO-Cholera%20Monthly%20Bulletin-June%202024.pdf>.

¹⁹ Cholera vaccines: position paper. World Health Organisation. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/258763/WER9234.pdf?sequence=1>

Брюшной тиф

Тиф брюшной – острая инфекционная болезнь, характеризующаяся симптомами общей интоксикации, лихорадкой, поражением внутренних органов, сыпью. Патоген относится к роду сальмонелл [7, т. 1, с. 227]. Заражение происходит при потреблении зараженной воды или продуктов. Смертность от тифа в странах Африки варьируется от 3,5% в Гане до 9,3% на Мадагаскаре [13, с. 606].

Представленные в табл. 3 данные о распространении брюшного тифа на Африканском континенте не позволяют составить полную картину, поскольку данных по 14 странам за предыдущие 4 года нет. Тяжелая эпидемиологическая ситуация имеет место в ДР Конго, Эфиопии и Анголе. В Западной Африке вспышка тифа произошла в Гане, большое количество инфицированных выявлено в Мали, Буркина Фасо, Кот-д'Ивуаре и Сьерра-Леоне. В Восточной Африке (за исключением Эфиопии) ситуация с тифом чуть лучше, однако значительное число заболевших зафиксировано в Уганде и в Танзании.

Для борьбы с брюшным тифом ВОЗ рекомендует африканским государствам проводить кампании массовой вакцинации²⁰. Однако существующие вакцины

²⁰ Africa's first-ever mass typhoid fever vaccination campaign ends in Zimbabwe. World Health Organisation. <https://www.afro.who.int/news/africanas-first-ever-mass-typhoid-fever-vaccination-campaign-ends-zimbabwe>.

Случаи заболевания брюшным тифом в странах Африки в 2020–2023 годах

| Страна | Число заболевших, млн | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|
| | 2023 | 2022 | 2021 | 2020 |
| Алжир | 0 | 0 | н/д | н/д |
| Ангола | 787 946 | 690 110 | 572 509 | 497 258 |
| Бенин | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Ботсвана | 0 | 0 | н/д | 0 |
| Буркина Фасо | н/д | н/д | н/д | 205 670 |
| Бурунди | 4251 | н/д | 9624 | н/д |
| Габон | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Гамбия | 0 | 0 | 0 | н/д |
| Гана | 0 | 118 986 | 612 050 | 0 |
| Гвинея | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Гвинея-Бисау | 0 | 7 | н/д | 1647 |
| Джибути | 13 | 57 | н/д | н/д |
| ДР Конго | 2 024 731 | н/д | 17 761 | н/д |
| Египет | 7982 | н/д | н/д | н/д |
| Замбия | 56 | н/д | 82 | н/д |
| Зимбабве | 0 | 135 | 135 | н/д |
| Кабо-Верде | н/д | н/д | 0 | н/д |
| Камерун | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Кения | 75 659 | 64 230 | 2 | н/д |
| Коморские острова | 0 | н/д | 0 | н/д |
| Конго | 25 | н/д | н/д | 441 |
| Кот-д'Ивуар | 118 589 | н/д | 138 475 | 139 429 |
| Лесото | 163 | н/д | н/д | 0 |
| Либерия | н/д | 0 | н/д | н/д |
| Ливия | н/д | 0 | н/д | н/д |
| Маврикий | н/д | 0 | н/д | н/д |
| Мавритания | н/д | н/д | 0 | 0 |
| Мадагаскар | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Малави | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Мали | 278 516 | н/д | н/д | н/д |
| Марокко | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Мозамбик | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Намибия | 0 | 4 | 0 | 1 |
| Нигер | 1970 | 0 | 0 | н/д |
| Нигерия | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Руанда | н/д | 842 | 916 | 74 |
| Сан-Томе и Принсипи | н/д | н/д | 801 | н/д |
| Сейшельские острова | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Сенгал | н/д | 17 660 | н/д | н/д |
| Сомали | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Судан | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Сьерра-Леоне | 59 184 | 63 305 | 65 984 | н/д |
| Танзания | 177 164 | 166 290 | 228 675 | н/д |
| Того | н/д | н/д | н/д | 289 |
| Тунис | н/д | 27 | 20 | 438 |
| Уганда | 91 710 | 94 574 | 203 050 | н/д |
| ЦАР | 8 732 | н/д | 974 | 36 697 |
| Чад | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Экваториальная Гвинея | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Эритрея | н/д | н/д | н/д | н/д |
| Эсватини | н/д | 0 | 0 | н/д |
| Эфиопия | н/д | 1 009 802 | н/д | н/д |
| ЮАР | 141 | н/д | 949 | 927 |
| Южный Судан | 6 754 | 252 227 | 852 | н/д |
| Всего | 3 639 335 | 2 478 256 | 1 852 859 | 882 871 |

Источник: Typhoid reported cases and incidence. World Health Organisation. <https://immunizationdata.who.int/global/wiise-detail-page/typhoid-reported-cases-and-incidence>.

от брюшного тифа имеют ограничения (срок их действия составляет три года, эффективность снижена при привитии детей и отсутствует – при вакцинации младенцев), отдаленные сельские районы практически не охвачены системой здравоохранения, а финансовых средств для проведения массовых кампаний не хватает [12, с. 37].

Гепатит А

Вирусный гепатит А относится к инфекционным заболеваниям, протекает с выраженной интоксикацией, желтухой (или без нее) и другими проявлениями печеночной недостаточности. Передается контактно-бытовым, пищевым и водным путями. Возможны парентеральный (в обход желудочно-кишечного тракта) и воздушно-капельный механизмы заражения [7, т. 1, с. 138–139]. Смертность от острого гепатита А в возрастной группе моложе 54 лет варьируется в диапазоне от 0,3 до 0,6%, для людей старше 54 лет – от 1,8 до 5,4% [16, с. 2]. Уровень распространения гепатита А оценивается как высокий в странах Африки южнее Сахары, а также в Судане, и как средний в остальных странах Северной Африки [17, с. 224].

На официальном сайте Африканской организации здравоохранения (АОЗ) указано, что в странах с неудовлетворительными санитарными условиями и ненадлежащими практиками гигиены до 90% детей в возрасте до 10 лет переносят гепатит А бессимптомно и приобретают иммунитет. АОЗ рекомендует провести поголовную вакцинацию детей в странах со средним уровнем эндемичности гепатита А, отмечая при этом, что в странах с высоким уровнем эндемичности использование вакцины нецелесообразно, поскольку большинство населения уже имеет иммунитет к этому заболеванию²¹.

Амебиаз

Амебиаз – протозойная (вызванная простейшими микроорганизмами) болезнь, характеризуется затяжным течением, язвенным поражением толстой кишки и развитием абсцессов в различных органах. Кишечный амебиаз или амебная дизентерия – основная форма инвазии [7, т. 1, с. 122–123]. Амебиаз занимает второе место в общемировом рейтинге смертности от паразитарных заболеваний [5, с. 73] (на первом месте – малярия). В мире от амебиаза ежегодно умирает более 100 тыс. человек. В Абиджане осложнения зарегистрированы у 92% заболевших, из них 15% умерли из-за позднего диагностирования заболевания [14, с. 1136]. По сведениям ученых Федерального научного агроинженерного центра Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства, циста возбудителя (*Entamoeba histolyti-*

²¹ Hepatitis A Fact sheet. АНО. <https://aho.org/fact-sheets/hepatitis-a-fact-sheet/>

sa) продолжительное время сохраняется во внешней среде и относительно устойчива к воздействию химических средств дезинфекции, в том числе щелочей, хлорных соединений, фенолов и альдегидов [5, с. 74].

Амебиаз широко распространен в различных регионах Африки, однако фрагментарность имеющихся сведений не позволяет составить исчерпывающую картину. Наибольшая распространенность амебы в Африке отмечена в Кении (64,1%), ЮАР (28,9%) и Эфиопии (26,6%). В меньшей степени возбудитель присутствует в Анголе (18,9%), Нигерии (18,5%), Гане (15,9%), а также на Мадагаскаре (9,8%), в Уганде (9,1%), Египте (6,6%), Мозамбике (6,1%), Судане (5%), Сенегале (4,1%), Танзании (3,6%) и Тунисе (1,4%) [11]. Это перечисление свидетельствует о распространении амебиаза практически по всему Африканскому континенту с наличием очагов в Восточной, Южной и Западной Африке.

Трахома

Трахома – хроническое инфекционное заболевание конъюнктивы и роговицы, характеризуется ее инфильтрацией, развитием фолликулов (образование в виде пузырька) и появлением рубцов [7, т. 2, с. 225]. Представляет собой проблему общественного здравоохранения в 42 странах и является причиной слепоты или нарушения зрения примерно у 1,9 млн человек. Слепота в результате трахомы необратима. Инфекция передается при прямом или непрямом контакте с выделениями из глаз и носа инфицированных людей, особенно детей раннего возраста²².

В «Атласе трахомы», составленном американской НПО «Глобальная инициатива по борьбе с трахомой»²³, эндемичные районы отмечены в ДР Конго, Судане, ЦАР и Южном Судане. Высокие показатели заражения отмечены в Анголе, Нигере, Нигерии (на северо-востоке), Чаде и Эфиопии²⁴. В качестве мер профилактики трахомы ВОЗ рекомендует гигиену лица и улучшение состояния окружающей среды, в частности повышение доступности водоснабжения и средств санитарии²⁵. Вакцины от основного возбудителя трахомы (*Chlamydia trachomatis*) не существует [19].

Гельминтозы

Гельминтозы – группа болезней, вызываемых паразитическими червями – гельминтами [3, с. 41]. К ним относятся дракункулез, энтеробиоз, аскаридоз, трихоцефалез, анкилостомоз и шистосомоз.

²² Трахома. ВОЗ. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/trachoma#>.

²³ The Alliance for Global Elimination of Trachoma. <https://www.trachomadata.org/>.

²⁴ Map. Trachoma Atlas. <https://atlas.trachomadata.org/>.

²⁵ Трахома. ВОЗ. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/trachoma#>.

Дракункулез (болезнь ришты) – калечащее паразитическое заболевание. Оно обычно передается в результате употребления питьевой воды, содержащей зараженных паразитом водяных блох²⁶ (рачки-циклопы – промежуточный хозяин). Микрофиллярии (личинки) ришты пробуравливают стенку кишечника и мигрируют по кровеносным и лимфатическим сосудам. Конечная стадия болезни характеризуется образованием на коже человека вызывающего зуд и боль пузырька с личинками, который лопается с образованием язвы [4, с. 1080]. В июне 2023 года гендиректор ВОЗ Тедрос Аданом Гебреисус сообщил, что человечество стоит на пороге искоренения дракункулеза. Он отметил, что в 1986 году, когда была принята Программа ликвидации дракункулеза, в 21 стране было зарегистрировано около 3,5 млн случаев заболевания. В 2022 году по всему миру заболели всего 13 человек²⁷.

Передающиеся через почву гельминтозы – аскаридоз, трихоцефалез и анкилостомоз – считаются одними из наиболее распространенных тропических болезней, которым не уделяется достаточного внимания [20, с. 52]. По данным АОЗ, в мире такими гельминтами заражено до 1,5 млрд человек, значительное число которых проживает в Африке²⁸.

В исследовании о распространенности гельминтозов среди несовершеннолетних приведена карта [20, с. 56]. Из нее следует, что по состоянию на 2018 год эти заболевания распространены по всей Африке южнее Сахары. В число наиболее проблемных стран вошли Ангола, Габон, ДР Конго, Камерун (прибрежные и южные районы), Лесото, Либерия, Мадагаскар, Нигерия (преимущественно южные районы), Республика Конго, Танзания, Экваториальная Гвинея, Эфиопия и ЮАР.

В борьбе с гельминтозами в Африке южнее Сахары достигнут существенный прогресс. Их распространенность среди детей в возрасте от 5 до 14 лет сократилась более чем в 3 раза: с 44% в 2000 году до 13% в 2018 году, что связано с превентивной фармакотерапией, улучшенной санитарией и экономическим развитием [20, с. 52]. Необходимо отметить, что возбудители аскаридоза и трихоцефалеза (*Ascaris lumbricoides* и *Trichocephalus trichiurus*) отличаются очень высокой степенью устойчивости к воздействию химических средств дезинфекции [5, с. 74].

Шистосомоз (шистоматоз, бильгарциоз) – заболевание, протекающее в острой или хронической форме, возбудителем которого являются кровяные сосальщики (трематодные черви). Существуют две основные формы шистосомоза – кишечная и мочеполовая.

Заражение происходит в результате контакта с водой, зараженной паразитами²⁹. Заболеваемость шистосомозом отмечается практически во всех странах Африки, за исключением Алжира, Марокко и Туниса, где благодаря усилиям государственных властей и медицинских служб передача возбудителя прекратилась [8, с. 9]. В Египте, где шистосомоз поражал людей еще 5000 лет назад, распространенность этого заболевания, которому в настоящее время подвержены преимущественно рыбаки и работники сельского хозяйства, сократилась в 29 деревнях до показателей 3–10% населения [9, с. 425]. Наибольшее число инфицированных шистосомозом отмечено в Нигерии – 29 млн [8, с. 10]. На втором месте – Танзания (23 млн зараженных), на третьем – ДР Конго (15 млн), отмечается высокая заболеваемость в Гане [8, с. 17].

Заключение

Если сопоставить представленные в таблицах данные по странам Африки, можно сделать следующие заключения. Довольно сложно выявить прямую зависимость между различными рассмотренными факторами и возникновением эпидемий, однако имеет смысл говорить о повышенном риске распространения заболеваний в странах с неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановкой. Применительно к ним речь идет о сочетании нескольких факторов. Это влажный или в некоторых случаях полувлажный климат, а также отсутствие у существенной доли населения доступа к чистой воде или/и к современным санитарным помещениям. Как результат – эпидемии холеры, брюшного тифа, распространенность гельминтозов, шистосомоза и других передающихся через воду заболеваний.

В качестве примеров такой ситуации выступают самые населенные государства Африки южнее Сахары: ДР Конго (41% населения не имеет доступа к очищенной воде, 66% – к современным санитарным помещениям, выпадение осадков – 1543 мм в год), Эфиопия (20 и 83% населения, 848 мм в год), Нигерия (16 и 37% населения, 1150 мм в год), а также ряд средних государств: Южный Судан (22 и 75% населения, 900 мм в год), Мозамбик (27 и 58% населения, 1032 мм в год), Танзания (23 и 50% населения, 1071 мм в год), Замбия (26 и 42% населения, 1020 мм в год), Зимбабве (23 и 34% населения, 657 мм в год), Ангола (33 и 26% населения, 1010 мм в год), Кот-д’Ивуар (19 и 36% населения, 1348 мм в год). Список «проблемных» стран на этом не исчерпывается. Составлению полной картины препятствует недостаток исчерпывающей медицинской статистики по странам в открытом доступе. Служивает упоминания исключение по климату – Мали, страна с полуаридными условиями (выпадение

²⁶ В ВОЗ заявили, что мир близок к искоренению дракункулеза. ТАСС, 13.06.2023. <https://tass.ru/obschestvo/17991241?ysclid=ly2sdc863f818819994>.

²⁷ Там же.

²⁸ Soil transmitted helminth infections fact sheet. АНО. <https://aho.org/fact-sheets/soil-transmitted-helminth-infections-fact-sheet/>.

²⁹ Шистосомоз. Всемирная организация здравоохранения. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/schistosomiasis>.

осадков – 282 мм в год), в которой зафиксировано значительное число заболевших брюшным тифом.

Условием для распространения болезней выступает высокая или средняя плотность населения. Наиболее иллюстративные примеры того, как «скученность» проживания способствует распространению эпидемий – Бурунди (плотность населения – 464,0 чел. на км²) и Коморские острова (421,1 чел. на км²), в меньшей степени это касается Уганды (195,8 чел. на км²) и Малави (172,2 чел. на км²). «Обратную» ситуацию наглядно демонстрируют страны с малой плотностью населения, в которых повышенного распространения передающихся через воду болезней не наблюдается. Это Намибия (плотность населения – 2,5 чел. на км²), Ботсвана (4,5 чел. на км²) и Мавритания (4,6 чел. на км²).

Очевидно, имеет место определенный механизм заражения: продукты жизнедеятельности человека из-за дождей попадают в водоемы, которые нередко используются и для забора воды для питья и хозяйственных нужд, что в условиях жаркого влажного климата, способствующего культивации патогенной микрофлоры в гидросфере, создает условия для возникновения эпидемий. Положение усугубляется тем, что даже при наличии современных санитарных помещений может отсутствовать канализация, и отходы жизнедеятельности сливаются в сточные канавы, содержимое которых вымывается в сезоны дождей в окружающую среду. Как результат, гидросфера оказывается загрязненной различными патогенами и становится мало пригодной для использования человеком.

Дополнительно следует отметить, что отсутствие водоочистки зачастую приводит к дефициту безопасной воды, что вынуждает население или сокращать ее потребление и подвергать себя риску болезней, ассоциирующихся с недостаточной гигиеной и неадекватной санитарией, или брать воду из водоемов без очистки при угрозе заразиться желудочно-кишечными и паразитарными заболеваниями. При этом бедность значительной доли населения существенно ограничивает его возможности по самостоятельной очистке воды, что налагает на государство повышенную ответственность по централизованному обеспечению граждан чистой водой. Усугубляют ситуацию и отсталые практики гигиены, обусловленные недостаточным пониманием ее значимости со стороны некоторой части простых людей.

Если принять во внимание плотность населения как фактор повышенного загрязнения гидросферы патогенной микрофлорой, стоит отметить, что в условиях продолжающегося в странах Африки демографического взрыва острота проблемы заболеваний, так или иначе связанных с водой или санитарией, вероятно будет возрастать. Способствует ухудшению ситуации и то, что темпы работ по обеспечению населения чистой водой и санитарными помещениями недостаточны для до-

стижения цели устойчивого развития № 6 к 2030 году. В реальности выполнение поставленных задач (а это создание водопроводов и систем водоочистки, а также строительство канализации и очистных сооружений для сточных вод) потребует систематической работы и многомиллиардных инвестиций. Более реальным для обеспечения населения стран Африки водой и санитарными удобствами видится срок в 20–30 лет, а если учесть внутренние вооруженные конфликты и экономические кризисы в ряде стран, можно предположить, что для них потребуется еще больше времени.

В таких условиях важно выделить приоритеты, главным из которых является, безусловно, здоровье населения. Одно из направлений борьбы с инфекционными заболеваниями – вакцинация, однако пример прививок от брюшного тифа наглядно демонстрирует ее ограничения, такие как необходимость регулярной ревакцинации и недостаточная эффективность для детей. Что касается паразитарных заболеваний, эффективных вакцин от них вообще не имеется. Немаловажно отметить и дефицит сил и средств, который, особенно в странах Африки южнее Сахары, не позволяет провести вакцинацию большинства населения.

В силу этого улучшение санитарии, в частности, обеспечение всего населения безопасной водой – важнейшая задача для стран континента, которая обуславливает потребность в поиске современных технологических решений. Вместе с тем, преимуществом для стран Африки могла бы стать возможность использовать технологические новинки, минуя предыдущие, уже пройденные другими государствами этапы развития.

В этих условиях многократно возрастает потребность в эффективной очистке воды, особенно с учетом сложных климатических условий: влажности и температуры, способствующих распространению нежелательной микрофлоры, а также устойчивости некоторых патогенов к дезинфицирующим средствам. В современном «арсенале» имеются различные способы уничтожения вредоносных организмов. Химические методы основаны на использовании сильных окислителей, ионов серебра и других веществ. К физическим методам относятся ультрафиолетовое облучение, гамма-облучение, термическая обработка, а также воздействие ультразвука [2, с. 127]. В частности, одной из перспективных разработок могло бы стать запатентованное отечественными учеными вихревое соноплазмохимическое устройство. Поскольку взаимодействие активных частиц плазмы с вредными химическими соединениями или микроорганизмами приводит к их разрушению³⁰, с его помощью можно производить обеззараживание воды.

³⁰ Камлер АВ, Никонов РВ, Боязитов ВМ, Суруханов РГ. Вихревое соноплазмохимическое устройство. Патент на изобретение. Научная электронная библиотека ELibrary.ru. https://elibrary.ru/download/elibrary_41322884_27106759.PDF.

Вышеизложенное свидетельствует об определенном потенциале для взаимодействия между Российской Федерацией и странами Африки в области водоочистки и обеспечения санитарии, что могло бы способствовать укреплению имиджа нашей страны на континенте за счет участия в достижении целей устойчивого развития.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках проекта «Проект “Чистая вода” как важнейшая составляющая сотрудничества РФ со странами Глобального Юга: социально-экономическое и технологическое измерения» по гранту Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Соглашение № 075-15-2024-546).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Абрамова ИО. Народонаселение Африки в условиях трансформации мирового порядка. Азия и Африка сегодня. 2022;(12):5–15. doi: 10.31857/S032150750023555-2.
2. Гришина НВ. Водные ресурсы Африки южнее Сахары: возможности и проблемы использования. М.: Институт Африки РАН; 2022.
3. Ильинских ЕН. Протозоозы. Гельминтозы. Томск: СибГМУ; 2012.
4. Исентаев АА, Тараскин АА. Дракункулез. Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2017;7(6):1080. <https://medconfer.com/files/archive/2017-06/2017-06-4353-T-14767.pdf>.
5. Лящук ЮО, Тетерин ВС, Панферов НС, Пехнов СА, Овчинников АЮ. Рейтинг-анализ чувствительности факторов биориска к воздействию химических средств дезинфекции в контексте обеспечения пищевой безопасности. Аграрный научный журнал. 2023;(7):69–76. DOI: 10.28983/asj.y2023i7pp69-76.
6. Меньшикова ЕА, Титова СВ, Курбатова ЕМ, Водопьянов АС, Писанов РВ, Москвитина ЭА. Экологические факторы, влияющие на распространение холеры. Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2018;7(3):88–94. doi: 10.24411/2305-3496-2018-13013.
7. Михайлов АА, редактор. Справочник фельдшера. М.: Медицина; 1994.
3. Ilyinskikh YeN. Protozoozy. Gelmintozy. [Protozooses. Helminthiasis]. Tomsk: SibGMU; 2012. (In Russ.)
4. Isentayev AA, Taraskin AA. [Dracunculiasis]. Bulletin Meditsinskikh Internet-Konferentsiy. 2017;7(6):1080. (In Russ.) <https://medconfer.com/files/archive/2017-06/2017-06-4353-T-14767.pdf>.
5. Liashchuk YuO, Teterin VS, Parfenov NS, Pekhnov SA, Ovchinnikov AYU. [Rating analysis of biorisk factor sensitivity to chemical agents of disinfection in the context of ensuring food security]. Agrarnyi Nauchnyi Zhurnal. 2023(7):69–76. (In Russ.) doi: 10.28983/asj.y2023i7pp69-76.
6. Menshikova YeA, Titiva SV, Kurbatova YeM, Vodopyanov AS, Pisanov RV, Moskvitina YeA. 2018. [Ecological factors influencing cholera propagation]. Infektsionnye Bolezni Novosti Mneniya Obucheniye. 2018;7(3):88-94. (In Russ.) doi: 10.24411/2305-3496-2018-13013.
7. Mikhaylov AA, ed. Spravochnik Feldshera. [Paramedical's Handbook]. Moscow: Meditsina; 1994. (In Russ.)
8. Aula OP, McManus DP, Jones MK, Gordon CA. Schistosomiasis with a focus on Africa. Trop Med Infect Dis. 2021;6(3). doi: 10.3390/tropicalmed6030109.
9. Barakat RMR. Epidemiology of schistosomiasis in Egypt: travel through time: review. J Adv Res. 2013;5(4):425–32. doi: 10.1016/j.jare.2012.07.003.
10. Cui Z, Li J, Chen Y, Zhang L. Molecular epidemiology, evolution, and phylogeny of Entamoeba spp. Infect Genet Evol. 2019;75. DOI: 10.1016/j.meegid.2019.104018.
11. Huang H, Cui H. Assessment of potential risks induced by increasing extreme precipitation under climate change. Nat Hazards. 2021;108:2059-79. doi: 10.1007/s11069-021-04768-9.
12. Imran KM, Franco-Paredes C, Sahastrabudde S, Ochiai RL, Mogasale V, Gessner BG. Barriers to typhoid fever vaccine access in endemic countries.

Общий список литературы/Reference List

1. Abramova IO. [Population of Africa under conditions of transformation of the World Order]. Aziya i Afrika Segodnia. 2022;(12):5–15. (In Russ.) doi: 10.31857/S032150750023555-2.
2. Grishina NV. Vodnye Resursy Afriki Yuzhneye Sakhary: Vozmozhnosti i Problemy Ispolzovaniya. [Water Resources of Sub-Saharan Africa: Opportunities and Problems of Use]. Moscow: Institut Afriki RAN; 2012. (In Russ.)

- Res Rep Trop Med. 2017;(8):37–44. doi: 10.2147/RRTM.S97309.
13. Marks F, Im J, Park SE, Pak GD, Jeon HJ, Nana LRW, Phoba MF, Mbuyi-Kalonji L, Mogeni OD, Yeshitela B, Panzner U, Espinoza LMC, Beyene T, Owusu-Ansah M, Twumasi-Ankrah S, Yeshambaw M, Alemu A, Adewusi OJ, Adekanmbi O, Higginson E, Rakotozandrindrainy R. Incidence of typhoid fever in Burkina Faso, Democratic Republic of the Congo, Ethiopia, Ghana, Madagascar, and Nigeria (the Severe Typhoid in Africa programme): a population-based study. *Lancet*. 2024;12(4):599–610. doi: 10.1016/S2214-109X(24)00007-X.
 14. Nasrallah J, Akhoundi M, Haouchine D, Marteau A, Mantelet S, Wind P, Benamouzig R, Bouchaud O, Dhote R, Izri A. Updates on the worldwide burden of amoebiasis: A case series and literature review. *J Infect Publ Health*. 2022;15:1134-41. doi: 10.1016/j.jiph.2022.08.013.
 15. Nwabor OF, Nnamonu EI, Martins PE, Ani OC. Water and waterborne diseases: A Review. *Int J Trop Dis Health*. 2016;12(4):1-14. doi: 10.9734/IJT-DH/2016/21895.
 16. Patterson J, Abdullahi L, Hussey GD, Muloiwa R, Kagina BM. A systematic review of the epidemiology of hepatitis A in Africa. *BMC Infect Dis*. 2019. doi:10.1186/s12879-019-4235-5.
 17. Pedersini R, Marano C, Moerloozee L, Chen L, Vietri J. HAV & HBV vaccination among travelers participating in the National Health and Wellness Survey in five European countries. *Travel Med Infect Dis*. 2016;14:221-32. doi: 10.1016/j.tmaid.2016.03.008.
 18. Perez-Saez J, Lessler J, Lee EC, Luquero FJ, Malembaka EB, Finger F, Langa JP, Yennan S, Zaitchik B, Azman AS. The seasonality of cholera in sub-Saharan Africa: a statistical modeling study. *Lancet*. 2022;10(6):831-9. doi: 10.1016/S2214-109X(22)00007-9.
 19. Pollock KM, Borges AH, Cheeseman HM, Rosenkrands I, Schmidt KL, Søndergaard RE, Day S, Evans A, McFarlane LR, Joypooranachandran J, Amini F, Skallerup P, Dohn RB, Jensen CG, Olsen AW, Bang P, Cole T, Schronce J, Lemm NM, Kristiansen MP, Andersen PL, Dietrich J, Shattock RJ, Follmann F. An investigation of trachoma vaccine regimens by the chlamydia vaccine CTH522 administered with cationic liposomes in healthy adults (CHLM-02): a phase 1, double-blind trial. *Lancet*. 2024;24(8):829-44. doi: 10.1016/S1473-3099(24)00147-6.
 20. Sartorius B, Cano J, Simpson H, Tusting LS, Marczak LB, Miller-Petrie MK, Kinvi B, Zoure H, Mwinzi P, Hay SI, Rebollo M, Pullan RL. Prevalence and intensity of soil-transmitted helminth infections of children in sub-Saharan Africa, 2000–18: a geospatial analysis. *Lancet*. 2021;9(1):52-60. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30398-3.





Подписано в печать **26.01.2025.**

Дата выхода в свет **02.02.2025.**

Отпечатано в **ИП Лесник**

197110, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 15 Лит 3 пом. 101-103

Тел.: +7 (812) 649-73-14.

Тираж 700 экз.

Цена свободная

Адрес издателя и редакции:

197110, Санкт-Петербург, Большая Разночинная ул., д. 28; тел./факс: (812) 415-41-61

Учредитель: **Фонд научных исследований "XXI век"**

Главный редактор: **Розенберг Геннадий Самуилович**