

2023

Т. 15, № 4

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ

БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru



**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВИДОВ И УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ: КАК ОЦЕНИТЬ ИХ
СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ
БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ?**

**В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко,
Л.В. Головатюк**

*THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF SPECIES AND THE ENVIRONMENTAL
CONDITIONS: HOW IS IT POSSIBLE
TO EXPLAIN THEIR JOINT IMPACT ON THE
STRUCTURE OF BENTHOS COMMUNITIES*
V.K. Shitikov, T.D. Zinchenko,
L.V. Golovatiuk

**ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ
БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ
ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ
И ПОВЫШЕНИЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ
УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНЫМИ
РАСТЕНИЯМИ**

**А.М. Назаров, И.О. Туктарова,
С.П. Четвериков, Р.С. Иванов,
М. Тимергалин, Н.А. Рязанова,
Г.Р. Кудоярова**

*BACTERIA- AND HUMATE-BASED
PREPARATIONS FOR FOREST
RESTORATION AND FOR ENHANCING
CARBON SEQUESTRATION BY TREES*

A.M. Nazarov, I.O. Tuktarova,
S.P. Chtverikov, R.S. Ivanov,
M. Timergalin, N.A. Riazanova,
G.R. Kudoyarova

**КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ
ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ
ЯДЕР ЛЕОПАРДА *PANTHERA PARDUS*
НА КАВКАЗЕ**

В.С. Лукаревский

*CONCEPT OF AND METHODS FOR
DEVELOPING THE REPRODUCTIVE
CORES OF THE LEOPARD *PANTHERA
PARDUS* IN CAUCASUS*

V.S. Lukarevsky

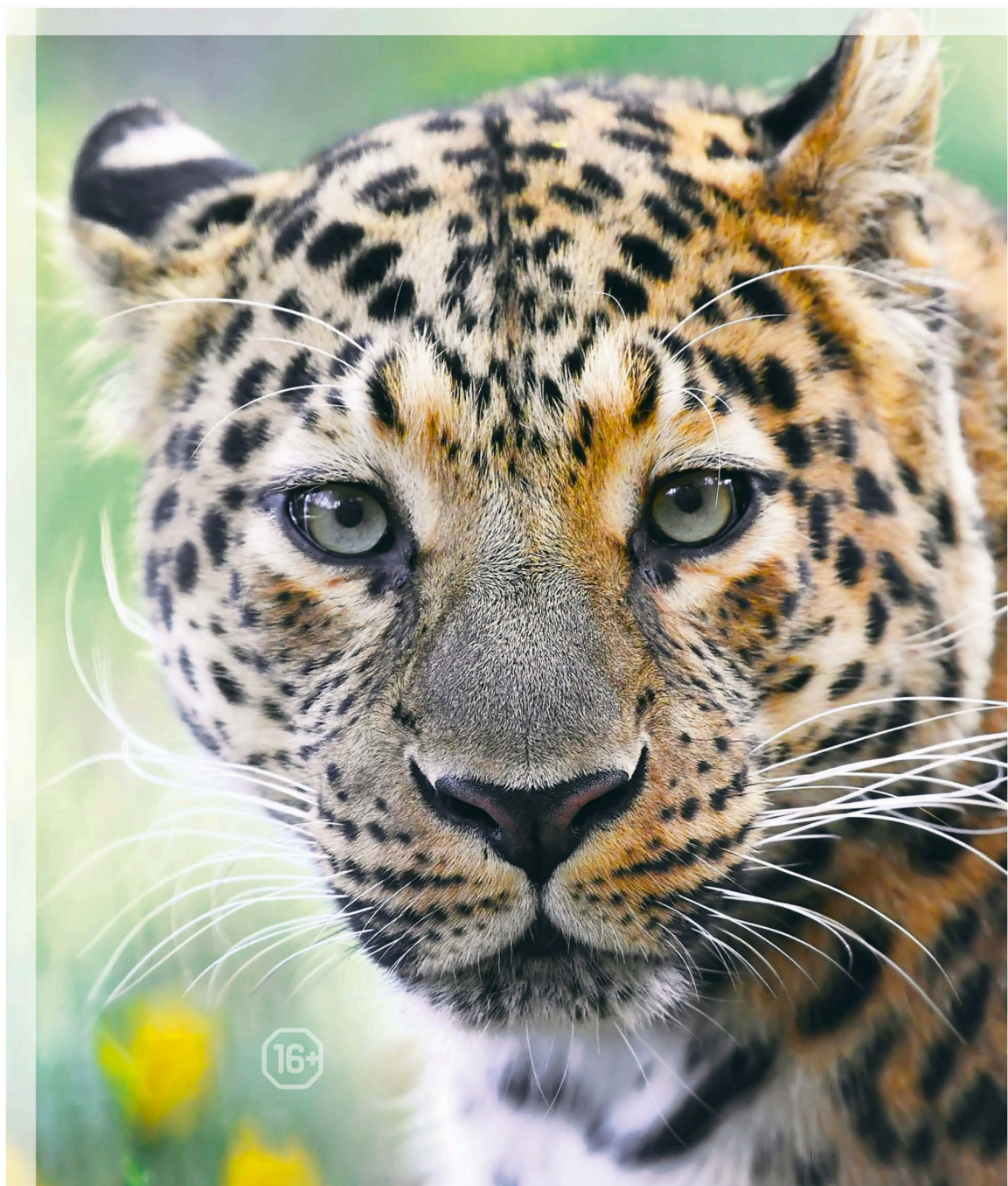


ФОТО: СЕРГЕЙ ТРЕПЕТ

© 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 15, № 4

Санкт-Петербург
2023



BIOSPHERE

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

Vol. 15, No. 4

Saint Petersburg
2023

© «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)****Ю.С. Васильев (С.-Петербург) Yu.S. Vasilyev (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	335	ФЛОРИСТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА Г. ТЮМЕНИ
298	ТЕОРИЯ / THEORY БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИДОВ И УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: КАК ОЦЕНИТЬ ИХ СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ? В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко, Л.В. Головатюк THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SPECIES AND THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS: HOW IS IT POSSIBLE TO EXPLAIN THEIR JOINT IMPACT ON THE STRUCTURE OF BENTHOS COMMUNITIES V.K. Shitikov, T.D. Zinchenko, L.V. Golovatiuk	343	В.А. Глазунов, А.С. Третьякова, Е.А. Чижов FLORISTIC DIVERSITY OF THE PRESENT-TIME ECOLOGICAL CARCASS OF THE CITY OF TYUMEN V.A. Glazunov, A.S. Tretyakova, Ye.A. Chizhov
308	ПРАКТИКА / PRACTICE ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ А.М. Назаров, И.О. Туктарова, С.П. Четвериков, Р.С. Иванов, М. Тимергалин, Н.А. Рязанова, Г.Р. Кудоярова BACTERIA- AND HUMATE-BASED PREPARATIONS FOR FOREST RESTORATION AND FOR ENHANCING CARBON SEQUESTRATION BY TREES A.M. Nazarov, I.O. Tuktarova, S.P. Chtverikov, R.S. Ivanov, M. Timergalin, N.A. Riazanova, G.R. Kudoyarova	349	ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (P. SYLVESTRIS L.) В СРЕДНЕЙ СИБИРИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ ХЛОРОПЛАСТНЫХ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ М.А. Шеллер, Е. Чиокырлан, П.В. Михайлов, С.С. Кулаков3, Н.Н. Кулакова, А.А. Ибе, Т.В. Сухих, А. Л. Курту GENETIC DIVERSITY OF SCOTS PINE (P. SYLVESTRIS L.) IN MIDDLE SIBERIA ASSESSED BY ANALYSIS OF VARIABILITY OF CHLOROPLAST MICROSATELLITE LOCI M.A. Sheller, E. Ciocîrlan, P.V. Mikhailov, S.S. Kulakov, N.N. Kulakova, A.A. Ibe, T.V. Sukhikh, A.L. Curtu
317	ПРИРОДА / NATURE КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ ЯДЕР ЛЕОПАРДА (PANTHERA PARDUS) НА КАВКАЗЕ В.С. Лукаревский CONCEPT OF AND METHODS FOR DEVELOPING THE REPRODUCTIVE CORES OF THE LEOPARD PANTHERA PARDUS IN CAUCASUS V.S. Lukarevsky	358	САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ В ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ПРИГОРОДА КРАСНОЯРСКА А.И. Татаринцев, Н.Н. Кулакова THE SANITARY CONDITION OF RECREATIONAL PINERIES IN SUB-TAIGA FORESTS OF KRASNOYARSK SUBURBS A.I. Tatarintsev, N.N. Kulakova
327	ДИНАМИКА ПСАММОФИТНОЙ СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КАРЖИМАНТСКИЕ СКЛОНЫ» Л.А. Новикова, В.М. Васюков, Т.В. Горбушина, А.В. Иванова, Т.М. Лысенко DYNAMICS OF PSAMMOPHYTIC STEPPE VEGETATION IN PENZA REGION WITHIN THE TERRITORY OF THE NATURAL MONUMENT «KARZHIMANTSKY SLOPES» L.A. Novikova, V.M. Vasiukov, T.V. Gorbushina, A.V. Ivanova, T.M. Lysenko	368	НАСЛЕДИЕ / HERITAGE ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ СПУСТЯ И К 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ В РАБОТАХ С.С. ШВАРЦА Г.С. Розенберг FIFTY YEARS AGO, AND TOWARDS THE 300TH JUBILEE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: THEORETICAL ECOLOGY IN WORKS BY S.S. SHVARTS G.S. Rozenberg
		A4 A5	О ВЗАМОСВЯЗЯХ ОБРАЗОВАНИЯ, ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ В РАБОТАХ А.Д. УРСУЛА (1936–2020) Е.В. Грязнова ON RELATIONSHIPS BETWEEN EDUCATION, SOCIETY, AND NATURE IN WORKS BY A.D. URSUL (1936–2020) Ye.V. Griaznova
			ПРИЛОЖЕНИЯ/ APPENDICES БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ ACKNOWLEDGEMENT OF REVIEWERS 2021 СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 13 COMBINED CONTENTS OF VOLUME 13

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИДОВ И УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: КАК ОЦЕНИТЬ ИХ СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ?

В.К. Шитиков¹, Т.Д. Зинченко^{1*}, Л.В. Головатюк²

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия; ²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок (Ярославская область), Россия

* Эл. почта: zinchenko.tdz@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.09.2023; принята к печати 12.10.2023

Предметом экологических исследований является количественная оценка связи между естественными и антропогенными факторами окружающей среды и биологическими свойствами видов (*traits*), определяющими условия их существования и механизмы адаптации. Получить в явном виде такие зависимости часто невозможно, но можно косвенно оценить их путем анализа таблиц распределения обилия обнаруженных видов с известными характеристиками по участкам наблюдений, где проводился мониторинг абиотических переменных. Для совместного статистического анализа трех таких наборов данных в статье используются два метода, описанных в литературе. Первый – анализ соответствия с двойными ограничениями (*double constrained correspondence analysis* dc-CA), – выполняет многомерную ординацию видов и участков с дополнительными осями координат «факторы и свойства», при которой достигается максимум доли совокупной объясненной вариации. Второй – построение байесовской модели логистической регрессии. Его результатом является нормированная матрица экологического «средства» (*affinity*) каждого вида по отношению к каждому биотопу, основанная на всем комплексе исходных данных. Эти методики апробировались на едином материале – базе данных многолетней гидробиологической съемки макрозообентоса малых и средних рек на территории Среднего и Нижнего Поволжья. Нами оценивалась статистическая значимость и пропорции совместного влияния экологических свойств среды и биологических характеристик видов на таксономическую структуру донных сообществ. На основе анализа коэффициентов моделей ранжировались эффекты влияния отдельных биологических признаков и абиотических факторов на вероятность появления вида в конкретном сообществе. Для каждого участка рек оценивалось «темное разнообразие» (*dark diversity*), то есть совокупность видов, которые теоретически по своим функциональным и аутоэкологическим характеристикам могут принадлежать к рассматриваемому сообществу, но пока не были обнаружены.

Ключевые слова: пресноводный бентос, бассейн реки Волга, свойства видов, абиотические факторы, анализ соответствия, байесовские модели, темное разнообразие.

THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SPECIES AND THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS: HOW IS IT POSSIBLE TO EXPLAIN THEIR JOINT IMPACT ON THE STRUCTURE OF BENTHOS COMMUNITIES

V.K. Shitikov¹, T.D. Zinchenko^{1*}, L.V. Golovatiuk²

¹Institute of Volga Basin Ecology, Togliatti, Russia;

²Papanin Institute Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Borok (Yaroslavskaia Oblast), Russia

* Email: zinchenko.tdz@yandex.ru

Ecological studies include quantitative assessments of relations between the natural and anthropogenic environmental factors and the biological properties (*traits*) of species that determine the conditions of their life and the mechanisms of their adaptation. It is often impossible to determine such conditions explicitly. However, they still may be assessed indirectly by analyzing the tables of abundance distribution of observable species vs. the known characteristics of the sites where abiotic variables were monitored. For a joint statistical analysis of three sets of such data, two published approaches are used in the present paper. The first one is double constrained correspondence analysis (dc-CA), which provides for a multidimensional ordination of species and sites with additional coordinate axes (*factors and properties*) so as to find a maximum of total explainable variation share. The second one is constructing a Bayesian logistic regression model. Its result is a normalized table of ecological affinity of each species to each biotope based on the totality of the initial data. These two approaches were tested against a single body of data available in the database of a long-term hydrobiological monitoring of meso-benthos of small and medium-size rivers in the Middle and Low Volga basin. We evaluated the statistical significance and proportions of the joint influences of the environmental conditions and the biological characteristic of species on the taxonomic structures of benthic communities. Based on the analysis of model parameters, the effects of defined biological traits and abiotic factors on the probability of the presence of a defined species in a defined community were ranked. For each river segment, the “dark diversity” i.e. the set of the species that theoretically may be expected to belong to a defined community but have not been found in it as yet was determined.

Keywords: freshwater benthos, Volga river basin, species traits, environmental variables, dc-CA, Bayesian models, dark diversity.

Введение

Современные экологические исследования включают описание, объяснение и моделирование взаимоотношений между сообществами и окружающей средой. При этом для получения более обоснованных выводов расширяется состав исходных данных, вовлекаемых в такой анализ. Экологи приходят к выводу, что появление и последующее развитие каждого вида в конкретном местообитании определяется не только лимитирующими факторами среды, но и совокупностью его собственных функциональных и морфологических характеристик (*traits*), которые позволяют организмам адаптироваться к меняющимся условиям биотопов и занять свое место в сообществе с учетом всего комплекса эндогенных взаимодействий [10, 19–20].

В 70–80-х годах прошлого века была отработана технология прямого ординационного анализа, использующая две совокупности данных: матрица Y , описывающая изучаемое мета-сообщество (встречаемость или численность p видов на n участках), и характеристики среды обитания E , то есть m абиотических факторов для n участков, которые выполняют роль независимых переменных многомерной модели $Y \sim E$, объясняющей связи в экосистеме [2, 9].

В 90-х годах развивается концепция так называемых Г-образных таблиц [5, 11], которые состоят из отрицательной центральной матрицы Y и двух связанных с ней матрицами предикторов E и T для строк и столбцов – см. рис. 1. Добавление третьей матрицы T ($p \times s$) с установленными биологическими признаками численностью видов s дает возможность проверки гипотез о том, как эти характеристики определяют реакцию видов на особенности среды обитания. Такой подход обеспечивает конечную эффективность биомониторинга и может быть использован для природоохраненных целей [4].

	Виды	Факторы среды
Участки	$Y =$ встречаемость, численность, биомасса	$E =$ pH, глубина, ионный состав, тяжелые металлы, кислород
Свойства	$T^t =$ масса тела, тип питания, участие в дрефте, количество генераций	$F =$ "четвертый угол"

Рис. 1. Состав таблицы Г-образных данных: Y – матрица, описывающая видовую структуру мета-сообщества; E – матрица экологических факторов среды по участкам

На рис. 1 таблица «четвертого угла» F – неизвестная матрица ($m \times s$), отражающая связи между переменными среды и свойствами видов, интерпретация которых, собственно, и является предметом экологических исследований. Трудность статистического анализа и моделирования таких данных заключается в проблеме оценки корреляции $f = \text{cor}_Y(e, t) = e^t Y t$, поскольку T и E связаны между собой лишь опосредованно через комбинации встречаемости видов на участках Y . Алгоритмы оптимальной трехтабличной ординации поэтапно совершенствовались и усложнялись – от с RLQ-анализа [5] и модифицированного метода четвертого угла [6] до четко математически обоснованного анализа соответствий с двойными ограничениями dc-CA [18]. Разрабатывается технология полного разложения вариации объединенного пространства «сообщество-среда-ниша-свойства видов-территория» CENTS (*Community–Environment–Niche–Traits–Space*) [17].

Другое направление связано с построением байесовских моделей. Алгоритмы моделирования совместного пространственного распределения видов [12, 16], кроме представленной выше Г-таблицы, дополнительно учитывают филогенетическую структуру сообществ и пространственную автокорреляцию данных в точках наблюдений. Унифицированная байесовская модель логистической регрессии [7] включает в качестве независимых предикторов как переменные, описывающие условия окружающей среды, так и функциональные и аутэкологические характеристики видов. Результатом подгонки такой модели являются нормированная матрица экологического «средства» (*affinity*) каждого вида по отношению к каждому биотопу, основанная на всем комплексе исходных данных.

В настоящей статье рассматриваются и сопоставляются между собой методики построения прямых ординаций с двойными ограничениями dc-CA [13] и байесовской модели «виды на участках» для оценки компонентов видового разнообразия [7] на едином исходном материале – результатам многолетней гидробиологической съемки макрозообентоса малых и средних рек на территории Среднего и Нижнего Поволжья. Основная цель – оценить статистическую значимость и пропорции совместного влияния экологических свойств среды (E) и биологических характеристик видов (T) на таксономическую структуру донных сообществ (Y). На основе анализа коэффициентов моделей ставится также задача оценить эффекты влияния отдельных биологических признаков и абиотических факторов на вероятность появления вида в конкретном сообществе.

Материал исследований

Анализ взаимосвязи таксономического состава донных сообществ с абиотическими условиями водной

среды и экологическими характеристиками отдельных видов проводили по результатам многолетних (1990–2019 годы) исследований на территории Среднего и Нижнего Поволжья [1, 8]. Гидробиологическую съемку макрозообентоса проводили в разные месяцы вегетационного периода на 90 малых и 12 средних равнинных реках, притоках Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ, в том числе, на семи реках аридного региона бассейна оз. Эльтон. Средние реки были разделены на относительно однородные участки: верхнее, среднее, нижнее течение и устье, а каждая малая река принималась как целостный объект. Таким образом, было исследовано $n = 132$ локальных сообщества, в каждом из которых по стандартным методикам выделено до 40 видов макрозообентоса.

Всего было взято 1400 проб с идентификацией 740 видов и таксонов рангом выше вида, которые для дальнейшего статистического анализа были ограничены списком из 147 таксонов, встретившихся не менее чем в 15 пробах или на 10 участках из 132. На основе данных о встречаемости этих видов формировалась исходная матрица Y размерностью 132×147 .

Матрицу T характеристик видов ограничили 3 количественными показателями (логарифм среднего индивидуального веса, мг/экз, вычисленный по всем выполненным пробам; индекс сапробности в модификации Зелинки-Марвина; индекс экологичности донного грунта) и одной качественной переменной – тип питания, преимущественный для каждого вида.

Индексы сапробности для видов рассчитывали по формуле:

$$Sr = (0 \cdot s_x + 1 \cdot s_o + 2 \cdot s_p + 3 \cdot s_a + 4 \cdot s_p) / 10,$$

где s_x , s_o , s_p , s_a , s_p – сапробные валентности для ксеносапробной, олигосапробной, β -мезасапробной, α -мезасапробной и полисапробной зон соответственно.

Индекс экологичности донного грунта рассчитывали по сходной методике: все грунты относились к 6 разрядам загрязненности (от 1 – песчано-гравийные до 6 – черный ил), вычисляли валентности, пропорциональные частотам встречаемости каждого вида в каждом типе грунта, после чего находили обобщенную валентность. Виды по типу питания были отнесены к 4 категориям: 1 – фитофаги-собиратели, 2 – хищники-хвататели, 3 – детритофаги-собиратели, 4 – сестонофаги-фильтраторы. Размерность матрицы T 147×6 , поскольку при построении модели каждая градация типа питания рассматривалась как отдельная переменная.

Матрицу E условий внешней среды для каждого участка рек формировали по данным параллельного мониторинга 30 показателей, включающих гидрологические параметры водотоков, индексы качества воды и содержание основных химических ингредиентов, а также растровых таблиц, содержащих основные

климатические показатели для региона исследований, загруженных с сервера свободно распространяемой информации WorldClim. Поскольку между всеми этими переменными наблюдалась сильная корреляционная связь, проводили анализ индексов инфляции дисперсии VIF и удаляли избыточные предикторы из рассмотрения. В результате было отобрано 7 факторов среды с приемлемой коллинеарностью, на основе которых формировалась матрица E 132×7 .

Перед построением моделей все переменные матриц T и E стандартизировали с использованием среднего и стандартного отклонения. Представленные ниже расчеты выполняли с использованием языка и статистической среды R вер. 3.6, специализированных пакетов `ade4` и `DarkDiv`, а также скриптов, представленных в приложениях к статьям [7, 13].

Анализ соответствий с двойными ограничениями

Анализ соответствий с двойными ограничениями (*double constrained Correspondence Analysis*, dc-CA) является многомерным методом ординации, который позволяет находить линейные комбинации биологических признаков видов и переменных окружающей среды, максимизирующие оценку «корреляции четвертого угла» [18]. Алгоритм dc-CA реализовывали в результате ряда последовательных шагов [7].

Канонический анализ соответствия (модель CCA1; $Y \sim E$), позволяющий определить, в какой мере вариация значений обилия видов объясняется факторами окружающей среды. При этом для каждого вида рассчитываются координаты многомерных центроидов экологических ниш S^* [14], ортонормированных на абиотические переменные.

Взвешенный анализ избыточности (RDA2; $S^* \sim T$), который превращает ординацию с одним ограничением, полученную на шаге 1, в ординацию с двумя ограничениями и оценивает, какая доля дисперсии центроидов видовых ниш S^* объясняется биологическими свойствами видов.

Канонический анализ соответствия (CCA3; $Y^t \sim T$), позволяющий определить, в какой мере вариация значений обилия видов объясняется их биологическими свойствами. Он позволяет получить оценки вариации R^* взвешенных средних значений признаков, ортонормированных по всему мета-сообществу.

Взвешенный анализ избыточности (RDA4; $R^* \sim E$), аналогичный шагу 2, который оценивает, какая доля дисперсии взвешенных средних R^* биологических свойств видов объясняется факторами среды.

Обобщение всех результирующих сводных статистик с шагов 1–4 и получение ординационных оценок dc-CA.

Канонический анализ соответствия CCA1 и CCA3 использовали для оценки статистической значимости

коэффициентов линейной регрессии GLM по F - и χ^2 -критериям применительно к предикторам **T** и **E** – см. табл. 1. Эта и все последующие проверки осуществляли с использованием перестановочного теста, то есть проводили многократное случайное перемешивание строк исходных таблиц и оценивали независимость результатов проверки нулевой гипотезы от процесса хаотического обмена.

Ординационные графики CCA1 и CCA3 хорошо интерпретируются предметно. На диаграмме участков рек под влиянием абиотических факторов среды (рис. 2а) легко просматривается широтный градиент от лесостепной зоны с повышенным уровнем осадков и расчлененностью рельефа (верховья р. Сок и р. Байтуган) до климатически более теплого Волгоградского водохранилища (устье р. Еруслан). Особое место на графике занимают высокоминерализованные реки бассейна оз. Эльтон (устье р. Хары, Чернавка и проч.).

В ординации видов, обусловленной их биологическими характеристиками, наиболее важное место занимает степень устойчивости организмов к загрязнению донного грунта – см. рис. 2б. Справа на диаграмме можно выделить группу полисапробных и галофильных видов, толерантных к критическим условиям среды: *Chironomus salinarius* (ChChi.sr), *Cricotopus salinophilus* (ChCri.sf), *Ephydra* sp. (EbEdr.sp), а слева –

виды, встречающиеся преимущественно в чистых водотоках: *Atherix ibis* (AtAth.ib), *Elmis aenea* (CoElm.an), *Hydropsyche pellucidula* (TrHyd.p), *Eukiefferiella gr. gracei* (ChEuk.gr), *Orthocladus oblidens* (ChOrc.o.), *Baetis rhodani* (EpBst.r.), *Odontomesa fulva* (ChOdo.f). Небольшая вариация по оси ординат обусловлена характером питания и средним весом организмов: *Unio pictorum* (UnUni.p.).

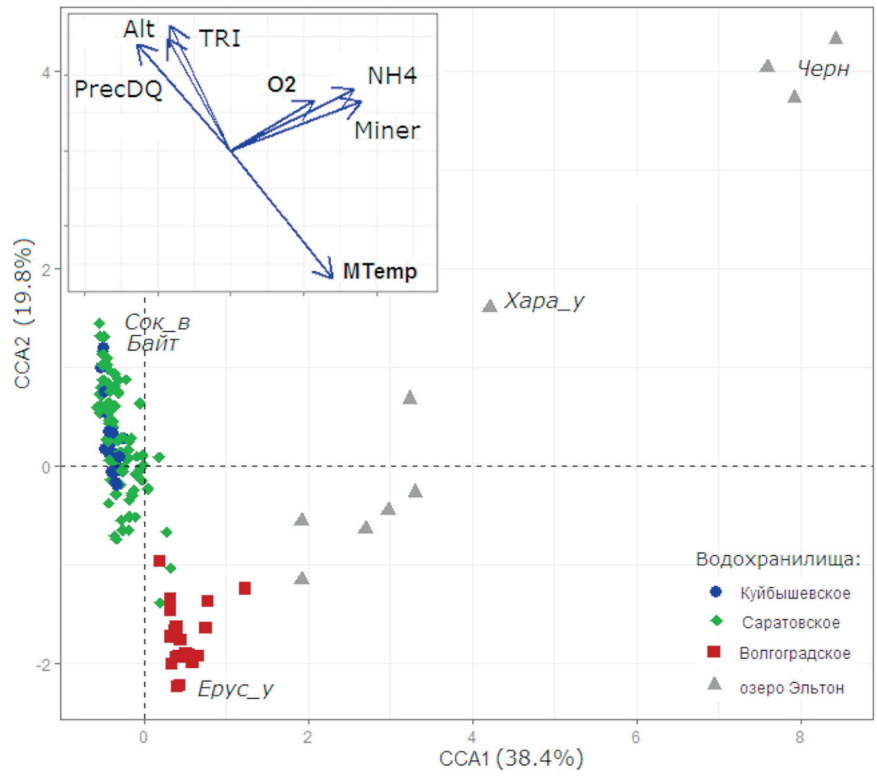
Взвешенный анализ избыточности (модели RDA2 и RDA4) позволил установить, что вариация обилия видов в мета-сообществе объясняется совместным влиянием как абиотических факторов среды, так и биологическими характеристиками самих видов. Значения коэффициента RV , который можно рассматривать как расширение двумерного коэффициента корреляции на многомерный случай, показывают статистически значимую связь между таблицей экологически структурированных центроидов ниш S^* и свойствами видов **T** ($RV = 0,324, p = 0,001$) и, с другой стороны, между таблицей структурированных средних биологических свойств видов R^* и абиотическими факторами **E** ($RV = 0,493, p = 0,001$).

По результатам объединения RDA2 и RDA4 первое собственное значение dc-CA объясняет 89,6% от общей приведенной вариации **F**, а коэффициент корреляции «четвертого угла», соответствующей этой оси,

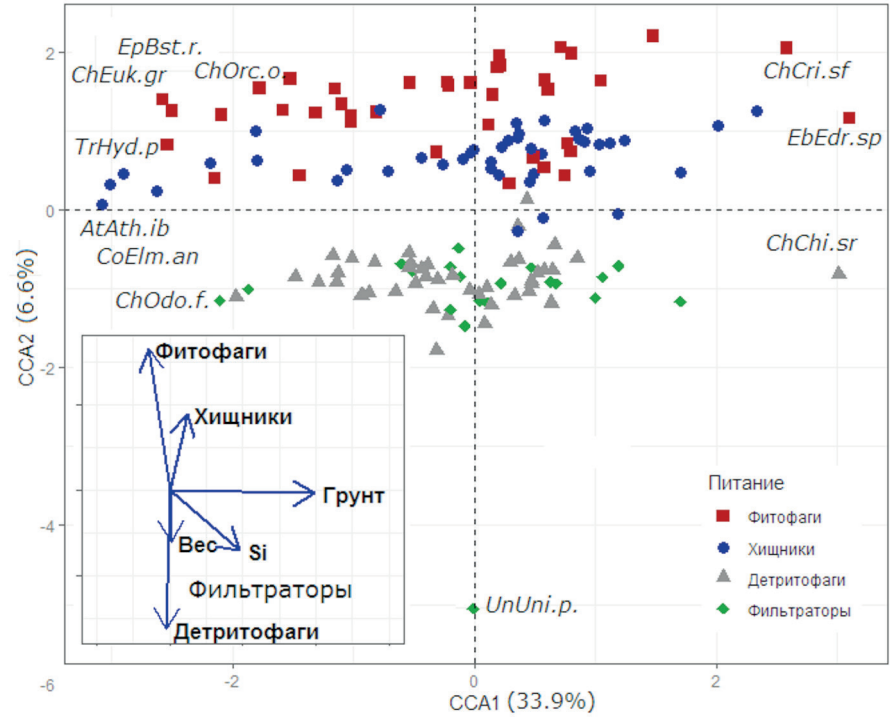
Табл. 1

Дисперсионный анализ (ANOVA) моделей CCA с использованием перестановочного теста (999 пермутаций)

Предикторы моделей	Число степеней свободы	Критерий с-квадрат	F-критерий	Вероятность Pr (>F)
<i>Модель CCA1 зависимости структуры мета-сообщества от абиотических факторов</i>				
Среднегодовая температура (MTemp)	1	0,280	11,544	0,001
Осадки за летний квартал (PrecDQ)	1	0,042	1,723	0,008
Высота над уровнем моря (Alt)	1	0,056	2,285	0,002
Расчлененность рельефа (TRI)	1	0,050	2,043	0,006
Минерализация воды (Miner)	1	0,230	9,451	0,001
Аммонийный азот (NH ₄)	1	0,064	2,645	0,005
Содержание кислорода (O ₂)	1	0,042	1,720	0,013
Все предикторы модели	7	0,763	4,488	0,001
Остатки	124	3,011		
<i>Модель CCA3 зависимости структуры мета-сообщества от свойств видов</i>				
Средний вес экземпляра (Вес)	1	0,021	0,911	0,429
Экологичность грунта (Грунт)	1	0,336	14,393	0,001
Индексы сапробности (Si)	1	0,028	1,187	0,174
Фитофаги	1	0,047	1,999	0,007
Хищники	1	0,039	1,681	0,009
Детритофаги	1	0,030	1,294	0,125
Все предикторы модели	6	0,502	3,577	0,001
Остатки	140	3,272		



а



б

Рис. 2. Ординационные диаграммы канонического анализа соответствия структуры мета-сообщества абиотическим факторам СС1 (а) и свойствам видов СС3 (б). Сокращенные обозначения см. в табл. 1 и по тексту

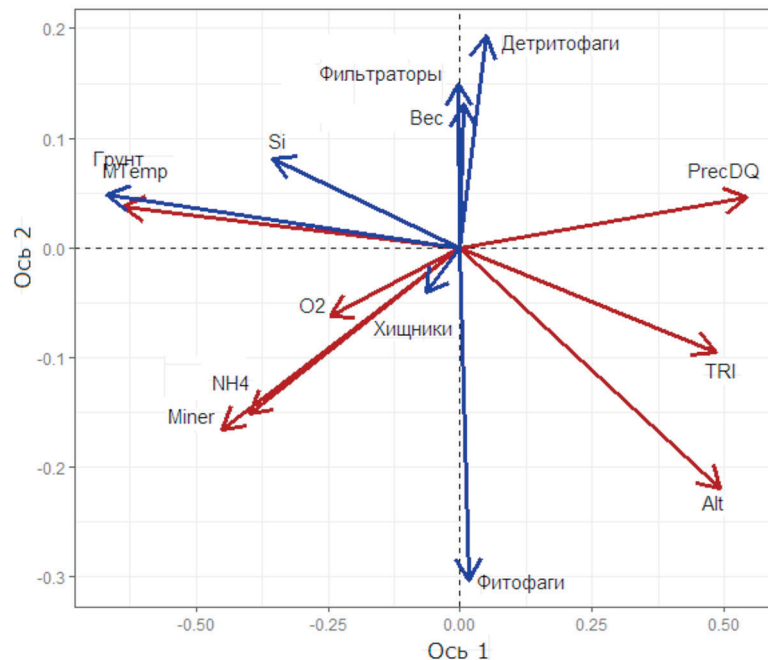


Рис. 3. Корреляционная связь независимых переменных ординационной модели с двумя ограничениями dc-SA. Сокращенные обозначения см. в табл. 1

оценен как $f = 0,47$. Эффективность двойных ограничений (Т, Е) для объяснения таблицы обилия \mathbf{Y} , рассчитанная как соотношение собственных значений dc-SA к модели с отсутствием ограничений, составила 0,52, что существенно превысило аналогичную эффективность ординарных ССА.

Корреляционный круг предикторов модели dc-SA, представленный на рис. 3, отражает результирующий характер взаимосвязи абиотических факторов среды и видовых признаков. Можно отметить низкий уровень корреляции между ними (исключение – тесная связь характера грунта с климатическими переменными), что свидетельствует о специфике воздействия каждого из представленных факторов на распределение обилия видов по изучаемой территории.

Байесовская модель для оценки вероятности встречаемости видов

Общая структура унифицированной байесовской модели «виды на участках» (*species-site unified model*) [7] представлена на рис. 4. Согласно модели, наблюдаемая видовая структура мета-сообщества, представленная матрицей \mathbf{Y} , аппроксимируется распределением Бернулли с матрицей вероятностей присутствия \mathbf{P} , $\mathbf{Y} \sim \text{Bern}(\mathbf{P})$, оценки которых (P_{ij}) могут быть получены как произведение значений пригодности S_{ij} и средства D_{ij} для каждого вида i на конкретном участке j . Индексы пригодности (*suitability*), оцениваемые из предположения, что совместно встречающиеся виды часто имеют общие экологические требования,

рассчитываются как стандартизованное отклонение этих частот от нуля-ожидания согласно гипергеометрическому распределению [7]. Обобщенная матрица \mathbf{D} экологического средства (*affinity*) рассчитывается с использованием всех возможных линейных комбинаций частных значений средства для каждого вида d_{sp} и каждого участка d_{site} , полученных с использованием двух моделей логистической регрессии.

Подгонка байесовской модели осуществлялась на основе итеративного процесса выбора исходных (априорных) оценок параметров модели и получении их результирующего (апостериорного) распределения. Этот процесс реализовали с использованием библиотеки JAGS методом построения длинных итеративных последовательностей нескольких марковских цепей Монте-Карло (МСМС), для которых распределение переходов определялось представленной выше структурой модели. Распределение коэффициентов модели было получено с использованием 5000 итераций для 3 цепей, формальная проверка сходимости которых осуществлялась с использованием статистики Гельмана-Рубина $R_{\text{hat}} = 1,06$, что соответствует вполне хорошему результату.

Матрицу вероятности \mathbf{S} использовали для отнесения i -го вида к j -му участку и осуществляли декомпозицию видового разнообразия на составляющие: «истинное разнообразие», когда прогноз совпадал с фактическим наблюдением, «темное разнообразие», то есть совокупности видов, которые теоретически по своим функциональным и аутоэкологическим характеристикам могут принадлежать к рассматриваемому

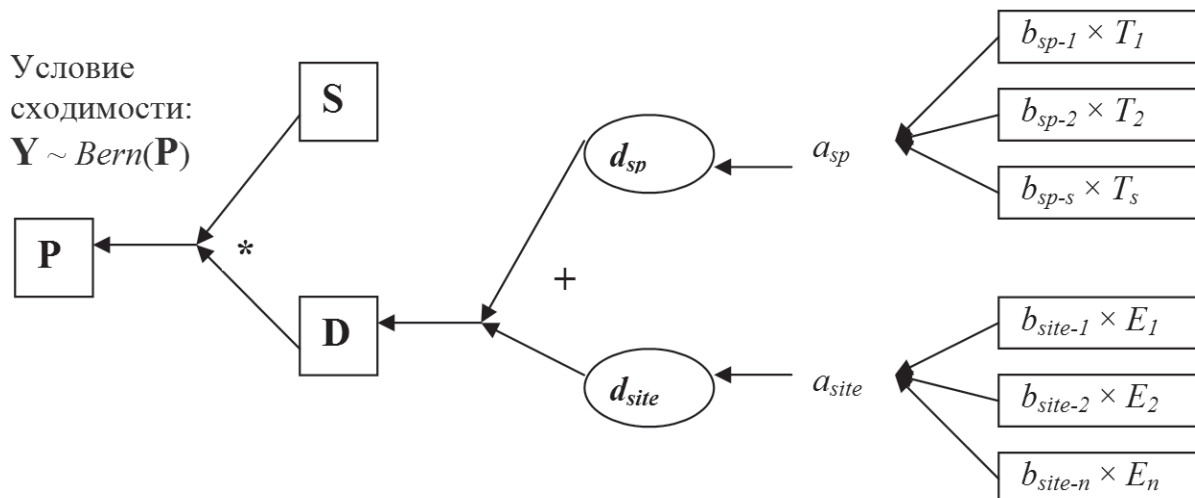


Рис. 4. Структура унифицированной байесовской модели [7], где: a_{sp} и a_{site} – свободные члены субмоделей логистической регрессии; b_{sp-i} и b_{site-i} – векторы коэффициентов для соответствующих строк матриц биологических признаков T_i и факторов среды E_i , применительно к виду i и участку j соответственно; d_{sp} и d_{site} – значения вероятностей экологического сродства для видов и участков; D – обобщенная матрица экологического сродства; S – матрица пригодности видов для каждого конкретного участка; P – матрица вероятностей Бернулли присутствия вида на участке.

Табл. 2

Показатели наблюдаемого и потенциального видового богатства р. Тукшумка, полученные на основе оценок вероятности пригодности S , сродства для видов d_{sp} , общего сродства D и унифицированной пригодности P

Вид	S	d_{sp}	D	P
<i>Наблюдаемое разнообразие</i>				
<i>Polypedilum scalaenum</i>	0,995	0,474	0,456	0,541
<i>Limnodrilus profundicola</i>	0,904	0,380	0,408	0,535
<i>Cricotopus sp.</i>	0,952	0,445	0,441	0,532
<i>Tanytarsus sp.</i>	0,961	0,473	0,455	0,523
<i>Prodiamesa olivacea</i>	1,000	0,535	0,486	0,514
<i>Paracladius conversus</i>	1,000	0,552	0,495	0,505
...				
<i>Темное разнообразие</i>				
<i>Stylaria lacustris</i>	0,937	0,291	0,361	0,599
<i>Limnodrilus sp.</i>	0,947	0,313	0,373	0,593
<i>Uncinaiis uncinata</i>	0,942	0,309	0,371	0,592
<i>Harnischia curtilamellata</i>	0,959	0,370	0,403	0,572
<i>Potamothrix hammoniensis</i>	0,963	0,386	0,412	0,566
<i>Thienemannimyia sp.</i>	0,996	0,456	0,447	0,551
<i>Paratendipes albimanus</i>	0,965	0,475	0,456	0,525
<i>Nais communis</i>	0,845	0,324	0,379	0,525
<i>Paracladopelma gr. camptolabis</i>	0,983	0,500	0,468	0,522
<i>Stempellina almi</i>	0,940	0,459	0,448	0,519
<i>Polypedilum convictum</i>	0,970	0,497	0,467	0,517
<i>Paralauterborniella nigrohalteralis</i>	0,905	0,436	0,437	0,510
<i>Harnischia fuscimana</i>	0,910	0,445	0,442	0,508
<i>Sialis sp.</i>	0,939	0,483	0,460	0,507
<i>Paratanytarsus lauterborni</i>	0,879	0,410	0,424	0,507
<i>Clinotanypus nervosus</i>	0,838	0,368	0,402	0,501

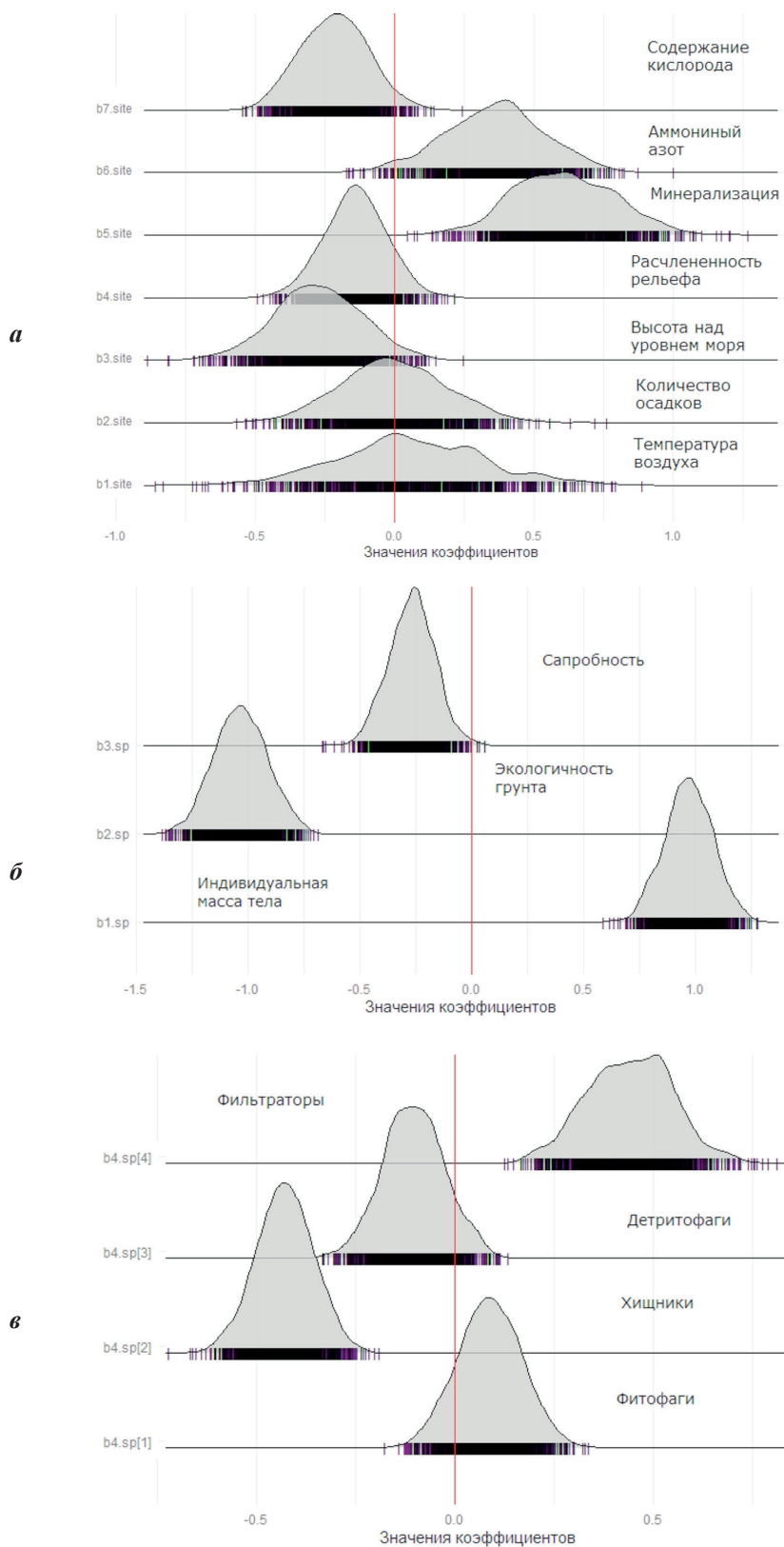


Рис. 5. Апостериорные распределения коэффициентов логистической регрессии b_{sp} и b_{ite} : а) абиотические переменные по участкам; б) свойства видов количественные; в) трофические группы видов

сообществу, но пока не обнаружены, и «серое разнообразие», когда модель признает присутствие вида в матрице Y маловероятным. С использованием ROC-анализа точность правильного предсказания наблюдаемых видов составила 81%.

Матрица вероятностей D предназначалась для «фильтрации» темного разнообразия блокированием двух взаимоисключающих сценариев: а) свойства вида не позволяют ему развиваться на биотопе, подходящем по аутоэкологическим характеристикам и б) факторы среды на участке препятствуют появлению вида, независимо от его биологических свойств. В качестве примера приведем анализ видового состава типичной малой реки Тукшумка, имеющий умеренный уровень стресса со стороны факторов среды ($d_{site} = 0,438$). По результатам двух проб было обнаружено 19 видов, и еще 16 видов были отобраны в качестве показателя потенциального видового богатства, которое вероятнее всего будет выявлено при повторном взятии проб (см. табл. 2).

Важное значение для предметной интерпретации имеют коэффициенты двух моделей логистической регрессии $b_{t.sp-i}$ и $b_{y.site-j}$ для каждого t -го свойства i -го вида и каждой v -й абиотической переменной на j -м участке соответственно. В этих моделях положительные значения коэффициентов приводят к возрастанию индивидуальных значений сродства с увеличением числовых независимых переменных, и, соответственно, возрастает шанс отсутствия i -го вида на участке j . Апостериорные плотности распределения, представленные на рис. 5, дают возможность заключить, что малозначимыми являются климатические факторы (температура воздуха и осадки), а также никак не влияют на встречаемость типы питания видов, относящие их к фитофагам и детритофагам, поскольку значительная часть распределения их коэффициентов близка к 0. Очевидно также, что при прочих равных условиях соленость воды и содержание ионов аммония снижает вероятность появления видов, тогда как насыщение кислородом, наоборот, увеличивает. Труднее приходится распространяться видам с большой массой тела и детритофагам (в отличие от хищников). Не столь понятна связь встречаемости видов с качеством донных отложений и сапробностью, но можно высказать предположение, что видам, адаптировавшимся к «тяжелым» грунтам и полисапробным водотокам, легче освоиться в менее экстремальных условиях.

Заключение

Построение ординационных и вероятностных моделей формирования видового состава становится важным инструментом при проведении экологических и биогеографических исследований. На региональ-

ном уровне эти модели связывают биоразнообразие локальных участков с пулом видов всего мета-сообщества, что позволяет объяснить экологические механизмы формирования лотических сообществ, композиционные сдвиги и потоки распространения организмов в пространстве. Исследования с привлечением модельных коэффициентов позволяют понять особенности функциональной экологии: например, как биологические свойства видов в сочетании с абиотическими характеристиками биотопов сказываются на реализации потенциального богатства видов в той или иной местности. Изучение состава видов, с высокой вероятностью включенных в темное разнообразие, может быть полезно при определении приоритетов охраны природы: среди них могут оказаться либо исчезающие виды, нуждающиеся в сохранении, либо чужеродные виды, к будущим вторжениям которых следует своевременно подготовиться.

Если аутоэкологические исследования имеют более чем 100-летнюю историю, то привлечение биологических характеристик видов (таких как средний размер или индивидуальная масса, форма тела, продолжительность жизненных циклов, стадии и количество генераций, особенности размножения, подвижность личинок и участие в дрефте, тип питания и дыхания, энергетический обмен, суточные изменения активности и др.) началось только в последние десятилетия. В первую очередь, такие исследования сдерживаются отсутствием скоординированных усилий всего мирового научного сообщества по созданию общедоступной базы данных по систематике и свойствам видов [15].

В то же время, объяснения, почему следует обнаружить i -й вид на j -м участке, не сводятся только к абиотическим факторам, биологическим свойствам видов и частотам их совместной встречаемости. В большинстве случаев реализуемый план исследований связан с пространственными координатами, и тогда состав видов обусловлен пространственной автокорреляцией (видовое богатство на участках, расположенных близко друг к другу, вероятнее всего, будет более сходными, чем для выборочных точек, расположенных далеко друг от друга). Кроме того, на таксономическом дереве можно выделить группы видов с высокой филогенетической корреляцией. В локальное сообщество для выполнения определенной экологической роли часто входит только часть видов каждой группы, и один вид постоянно сменяет другой, выполняя ту же функцию. В связи с этим современные многомерные модели совместного пространственного распределения видов [12, 16] дополнительно учитывают филогенетическую структуру сообществ и пространственную автокорреляцию данных в точках наблюдений.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Зинченко ТД. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна Средней и Нижней Волги (Атлас). Тольятти: Кассандра; 2011.
2. Шитиков ВК, Зинченко ТД. Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2019;(1):5-11.

Общий список литературы/References

1. Zinchenko TD. Ekologo-Faunisticheskaya Kharakteristika Khironomid (Diptera, Chironomidae) Malых Рек Basseyna Sredney i Nizhney Volgi (Atlas). [Ecological and Faunal Characteristics of chironomids (Diptera, Chironomidae) of small rivers of the Middle and Lower Volga basin (Atlas)]. Togliatti: Kassandra; 2011. (In Russ.)
2. Shitikov VK, Zinchenko TD. [Multivariate statistical analysis of ecological communities (a review)]. Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya. 2019;(1):5-11. (In Russ.)
3. Carmona CP, Pärtel M. Estimating probabilistic site-specific species pools and dark diversity from cooccurrence data. *Glob Ecol Biogeogr*. 2021;30(1):316-26.
4. Dolédec S, Stutzner B, Bournaud M. Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biol*. 1999;42:737-58.
5. Dolédec S, Chessel D, ter Braak CJF, Champely S. Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environ Ecol Stat*. 1996;3:143-66.
6. Dray S, Legendre P. Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology*. 2008;89:3400-12.
7. Fujinuma J, Pärtel M. Decomposing dark diversity affinities of species and sites using Bayesian method: What accounts for absences of species at suitable sites? *Meth Ecol Evolut*. 2023;14(7):1796-807.
8. Golovatyuk LV, Shitikov VK, Zinchenko TD. Estimation of the zonal distribution of species of bottom communities in lowland rivers of the Middle and Lower Volga Basin. *Biol Bull*. 2018;45(10):1262-8.
9. Jongman RHG, ter Braak CJF, van Tongeren OFR. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Wageningen: Pudoc; 1987.
10. Keddy PA. A pragmatic approach to functional ecology. *Funct Ecol*. 1992;6:621-6.
11. Legendre P, Galzin R, Harmelin-Vivien ML. Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology*. 1997;78:547-62.
12. Ovaskainen O, Abrego N. *Species Distribution Modelling: With Applications in R*. Cambridge: Cambridge Univ. Press; 2020.
13. Peng FJ, ter Braak CJF, Rico A, van den Brink PJ. Double constrained ordination for assessing biological trait responses to multiple stressors: A case study with benthic macroinvertebrate communities. *Sci Tot Environ*. 2021;754:142171.
14. Peres-Neto PR, Dray S, ter Braak CJF. Linking trait variation to the environment: critical issues with community-weighted mean correlation resolved by the fourth-corner approach. *Ecography*. 2017;40:806-16.
15. Rico A, van den Brink PJ. Evaluating aquatic invertebrate vulnerability to insecticides based on intrinsic sensitivity, biological traits, and toxic mode of action. *Environ Toxicol Chem*. 2015;34:1907-17.
16. Shitikov VK, Zinchenko TD, Golovatyuk LV. Models of joint distribution of species on the example of benthic communities from small rivers of the Volga Basin. *Biol Bull Rev*. 2022;12(1):84-93.
17. Sîrbu I, Benedek AM, Sîrbu M. Variation partitioning in double-constrained multivariate analyses: linking communities, environment, space, functional traits, and ecological niches. *Oecologia*. 2021;197:43-59.
18. ter Braak CJF, Šmilauer P, Dray S. Algorithms and biplots for double constrained correspondence analysis. *Environ Ecol Stat*. 2018;25:171-97.
19. Thuiller W, Lavorel S, Midgley G, Lavergne S, Rebelo T. Relating plant traits and species distributions along bioclimatic gradients for 88 *Leucaedendron* taxa. *Ecology*. 2004.85:1688-99.
20. Townsend CR, Hildrew AG. Species traits in relation to a habitat template for river systems. *Freshwater Biol*. 1994;31:265-275.

ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

А.М. Назаров¹, И.О. Туктарова¹, С.П. Четвериков²,
Р.С. Иванов^{1, 2*}, М. Тимергалин²,
Н.А. Рязанова^{1, 3}, Г.Р. Кудоярова^{1, 2}

¹Уфимский государственный нефтяной технологический университет, Уфа, Россия; ²Уфимский институт биологии и ³Южно-Уральский ботанический сад-институт Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

* E-mail: ivanovirs@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.09.2023; принята к печати 08.10.2023

Восстановление лесов в районах, где они когда-то росли, является важным шагом на пути к увеличению связывания (секвестрации) углерода. Однако лесовосстановление требует увеличения текущего уровня производства саженцев в лесопитомниках. Целью данной работы было изучение эффективности препаратов на основе бактерий и гуматов для стимуляции роста сеянцев деревьев в условиях питомника. Для обработки древесных растений сосны и тополя пирамидального использовали два отобранных штамма *Pseudomonas* и гуматы. Обработку сеянцев проводили во время их пересадки и после нее и оценивали влияние препаратов на удлинение побегов, а также массу побегов и корней. Обработка обоими штаммами бактерий усиливала рост побегов и корней тополя и сосны, что объяснялось их способностью синтезировать ауксин индолилуксусную кислоту. *P. protegens* DA1.2 оказался более эффективным, чем штамм *Pseudomonas* sp. 4CH. Обработка растений гуматами увеличивала индекс баланса азота и содержание хлорофилла в листьях проростков тополя, что может повышать депонирование углерода благодаря более высокой скорости фотосинтеза. Кроме того, комбинация гуматов с *P. protegens* DA1.2 увеличивала накопление биомассы побегов у только что пересаженных растений сосны, что указывает на возможность использовать эту комбинацию при посадке растений. Увеличение длины и массы побегов и корней служит показателем улучшения качества посадочного материала, необходимого для успешного лесовосстановления и увеличения секвестрирования углекислого газа.
Ключевые слова: декарбонизация; древесные насаждения; ускорение роста саженцев; бактериальные препараты; гуминовые вещества.

BACTERIA- AND HUMATE-BASED PREPARATIONS FOR FOREST RESTORATION AND FOR ENHANCING CARBON SEQUESTRATION BY TREES

A.M. Nazarov¹, I.O. Tuktarova¹, S.P. Chetverikov², R.S. Ivanov^{1, 2*}, M. Timergalin²,
N.A. Ryzanova^{1, 3}, G.R. Kudoyarova^{1, 2}

¹Ufa State Oil Technology University, Ufa, Russia; ²Ufa Institute of Biology and ³South Urals Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

* E-mail: ivanovirs@mail.ru

Forest restoration in areas previously occupied by forests is important for increasing carbon sequestration. For this, however, stationary sapling production in nursery gardens must be increased. The objective of the present work is to evaluate the efficacy of preparations based on bacteria and humates in stimulating the growth of tree seedlings in nursery-garden conditions. To treat Scots-pine and Bolle's-poplar, two *Pseudomonas* strains and a humate preparation were used. Seedlings were treated during and after their transplantation. Treatment effects were assessed by measuring shoot elongation and shoot and root mass. Both bacterial strains enhanced shoot and root growth probably because of the ability of the bacteria to produce the auxin indolyl acetate. *P. protegens* DA1.2 proved to perform better compared with *Pseudomonas* sp. 4CH. Humate treatment increased the index of nitrogen balance and the content of chlorophyll in poplar shoot leaves. This effect may enhance carbon sequestration due to increased photosynthesis. Combining humates with *P. protegens* DA1.2 can enhance increasing the biomass of pine shoots right after their transplantation. Such a combination may be used upon tree planting. Increased shoot and root size and mass evidence an improvement of the conditions of trees to be planted for the sake of successful forest restoration and enhanced carbon sequestration.

Keywords: carbon reduction, tree plantations, sapling growth, bacterial preparations, humates.

Введение

Вырубка лесов является одной из важнейших антропогенных причин увеличения уровня парниковых газов в мире [2]. Посадка деревьев может увеличить способность лесов поглощать углерод [3], а лесовосстановление помогает улучшить климатические условия [4]. Подчеркивается, что секвестрация углерода в результате посадки деревьев и лесовосстановления зависит от выращивания посадочного материала в питомниках [5]. Но молодые сеянцы сосны в первые годы после посадки растут медленно [6].

Одним из путей решения проблемы получения качественных саженцев деревьев для древесных насаждений является внедрение в технологию их выращивания современных физиологически активных препаратов на основе бактерий и гуминовых веществ. Их использование считается экологически безопасным механизмом стимуляции роста растений по сравнению с большим количеством удобрений и получает все большее распространение в сельском хозяйстве [7]. Хорошо известно, что при раздельном внесении ризосферных бактерий [8] и гуминовых веществ (ГВ) (продукты разложения органического вещества, извлеченные из бурых углей, торфа и других источников) [1] каждый из этих препаратов положительно влияет на рост растений. Однако сообщений об их воздействии на деревья значительно меньше, чем сведений об их влиянии на травянистые растения. Тем не менее, было показано, что гуматы усиливали рост деревьев и урожайность апельсинов и грейпфрутов [9], а гуминовые кислоты усиливали рост посадочного материала каучуконосов [10]. Ризосферные микробы усиливали рост сеянцев тика (*Tectona grandis*) [11], а бактерии штамма *Pseudomonas fluorescens* способствовали росту сеянцев осины в условиях дефицита минерального питания [12]. Ризобактерии, стимулирующие рост растений (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, PGPR), оказывают благотворное влияние на растения, в том числе деревья, благодаря увеличению доступности содержащихся в почве питательных веществ, а также синтезу метаболитов, в том числе гормонов растений [13]. Исследования, которые проводились на сельскохозяйственных культурах, показали, что совместное действие гуматов и бактерий оказалось более эффективным, чем применение каждого из них по отдельности [14]. Однако практически не было работ, посвященных совместному использованию PGPR и гуминовых веществ для ухода за древесными питомниками. В связи с этим целью данной работы явилось изучение эффективности препаратов на основе бактерий и ГВ для стимуляции роста растений как средства повышения качества посадочного материала деревьев и более устойчивого производства саженцев для лесовосстановления с целью оптимизации депонирования углерода. Новизна данной работы заключается в

изучении комплексного действия гуматов и микроорганизмов на рост саженцев деревьев, которое, насколько нам известно, ранее не проводилось. Мы предположили, что совместное применение бактерий и гуминовых веществ может быть более эффективным в стимуляции роста саженцев деревьев в питомниках, чем использование каждого из них в отдельности.

Материалы и методы исследований

Бактериальные штаммы и среды для их культивирования

В работе использовали два штамма грамотрицательных бактерий из коллекции микроорганизмов Уфимского института биологии, выделенные из природных источников: *Pseudomonas protegens* DA1.2 (депонирован во Всероссийской коллекции микроорганизмов В-3542D), описан в статье Четверикова и соавт. [15] и *Pseudomonas sp.* 4СН (депонирован в коллекции микроорганизмов УИБ-57). Эти штаммы бактерий были выбраны для обработки саженцев деревьев, поскольку в предыдущих опытах их сочетание с гуматами стимулировало рост травянистых растений (пшеница) [14]. Бактерии культивировали в колбах Эрленмейера на среде Кинга В (2% пептон, 1% глицерин, 0,15% K_2HPO_4 , 0,15% $MgSO_4 \times 7H_2O$) на шейкере Innova 40R (Нью-Брансуик, Нью-Джерси, США) при 160 об/мин в течение 48 ч при 28 °С. Количество клеток в культурах измеряли нанесением серийных разведений на среду Кинга В с агар-агаром (15 г/л) и последующим подсчетом числа колониеобразующих единиц (КОЕ). Бактериальную культуру разбавляли стерильной водой и получали раствор для обработки растений. Способность к мобилизации фосфатов оценивали путем измерения размера прозрачных зон на среде Пиковского, а в качестве индикатора бактериальной нитрогеназной активности использовали анализ восстановления ацетилена, как описано [16].

Извлечение гуминовых веществ

Источником гуминовых веществ служил бурый уголь Тюльганского месторождения в Оренбургской области Российской Федерации. Уголь смешивали с 0,1 М КОН в соотношении 1:10 и ГВ экстрагировали в течение двух часов при перемешивании при 1500 об/мин. Осадок удаляли центрифугированием при 12000 об/мин в течение 10 мин.

Условия роста и обработка растений

Нами была использована общепринятая технология выращивания сеянцев деревьев в питомниках; при этом комбинированная обработка сеянцев деревьев бактериями и гуматами в данном исследовании

применялась впервые. Мы модифицировали технологию, которая ранее успешно применялась на растениях пшеницы [14]. Опыты проводили в питомнике Башкирского государственного аграрного университета (54°80' с.ш., 55°84' в.д., 170 м над уровнем моря), Уфимский район Башкортостана, Российская Федерация, а также в Южно-Уральском Ботаническом саду-институте УфНЦ РАН. Для опыта использовали черенки тополя башкирского пирамидального (гибрид тополя итальянского пирамидального и тополя черного (*Populus italica pyralis* × *P. nigra*), полученный в конце 1930-х годов на Башкирской лесной опытной станции). Эти породы деревьев были выбраны для экспериментов, так как они часто используются для лесовосстановления и озеленения городов во многих регионах. В первой декаде апреля с началом интенсивного снеготаяния отбирали ветки тополя прошлой годней генерации, от которых отделяли черенки длиной 20 см и закладывали для месячной стратификации. Перед обработкой препаратами на основе бактерий и ГВ черенки помещали в воду для прорастания первых корешков. Черенки высаживали в грунт на 2/3 их длины под углом 45° к поверхности земли.

Перед посадкой сеянцы тополя замачивали в 2 л воды, в которую добавляли по 50 мл бактериальной взвеси ((4 ± 0,5) × 10⁹ КОЕ/мл) и ГВ (2 г/л) по отдельности или в комбинации. Рассаду поливали 2 раза в месяц двумя литрами препаратов бактерий и ГВ той же концентрации. Контрольные растения обрабатывали таким же количеством воды без добавок. Через три месяца после посадки саженцев тополя измеряли длину боковых побегов.

Двухлетние саженцы сосны *Pinus sylvestris* L. из питомника высаживали на расстоянии 50 см друг от друга. Перед посадкой их замачивали в суспензии бактерий, гуматов или их смеси, а затем поливали теми же растворами, что описаны выше. Параллельно сеянцы сосны, высаженные из питомника за 1 и 2 года до настоящих опытов (ниже они обозначены как 3- и 4-летние сеянцы соответственно), три раза поливали таким же образом бактериями и ГВ (отдельно или в смеси). Скорость роста сосны оценивали по изменению длины главного и боковых побегов за четыре месяца. Побеги и корни двухлетних сеянцев сосны отбирали после окончания роста сеянцев в текущем году. Корни промывали водопроводной водой и сушили, как и побеги, в проветриваемом сушильном шкафу при 60 °С в течение 48 ч для измерения их сухой массы (питомник БГАУ).

Также проводили оценку влияния препаратов ГВ и бактерий (по отдельности и в сочетании друг с другом) на удлинение побегов, отстающих в скорости роста (нестандартных), – длина менее 8–10 см и толщина ствола менее 2 мм (в соответствии с ГОСТ 3317-77 и Приказом Министерства природы РФ от 04.12.2020

№ 1014) – саженцев сосны (в возрасте 1 года), которые были специально отобраны перед их пересадкой (Питомник Ботанического сада-института).

Анализ содержания пигментов

Содержание хлорофилла (a + b), флавоноидов и индекс баланса азота (NBI) [17] в листьях измеряли с помощью прибора DUALEX SCIENTIFIC+ (FORCE-A, Париж, Франция) в соответствии с рекомендациями производителя.

Анализ индолилуксусной кислоты (ИУК) в бактериальных культуральных средах

На вторые сутки культивирования бактерий проводили иммуноанализ питательных сред. ИУК экстрагировали из культуральных сред бактерий диэтиловым эфиром, как описано [18]. Вкратце, 1 мл бактериальной культуральной среды разбавляли дистиллированной водой и подкисляли HCl до pH 2,5 для экстракции ИУК диэтиловым эфиром. Затем ИУК экстрагировали из диэтилового эфира раствором NaHCO₃ и реэкстрагировали диэтиловым эфиром из подкисленной водной фазы. Анализ ИУК проводили методом иммуноферментного анализа с использованием специфических антител против ИУК, как описано [19]. Надежность метода обусловлена специфичностью антител к ауксином и применением экстракционного метода, позволяющего эффективно извлекать ИУК при снижении количества примесей за счет уменьшения объема экстрагентов на каждой стадии экстракции/реэкстракции. Эффективность очистки ИУК перед иммуноанализом была подтверждена изучением хроматографического распределения, которое показало, что пики иммунореактивности совпадают только с положениями стандартов ИУК.

Статистика

Данные обработаны с помощью программы Statistica версии 10 (Statsoft, Москва, Россия) и представлены в таблицах и рисунках как среднее значение ± стандартная ошибка. Статистическую значимость различий между средними значениями оценивали с помощью дисперсионного анализа с последующим применением критерия Дункана ($p < 0,05$). На рисунках средние значения, статистически отличающиеся друг от друга, обозначены разными буквами. Количество повторов (n) указано в подписях к рисункам.

Результаты

Исследуемые штаммы бактерий проявляли нитрогеназную активность и способность солибилизировать фосфаты и синтезировать ИУК (табл. 1).

Измерение длины побега через 4 месяца после пересадки 2-летних сеянцев сосны показало, что

Свойства бактерий, стимулирующих рост

	Нитрогеназная активность, нмоль C ₂ H ₄ /(ч×мл)	Синтез ИУК, нг/мл	Солюбилизация фосфатов, мм
<i>P. protegens</i> DA1.2	20,8 ± 0,3	870 ± 44	18 ± 2
<i>Pseudomonas</i> sp. 4СН	20,0 ± 0,2	837 ± 55	15 ± 2

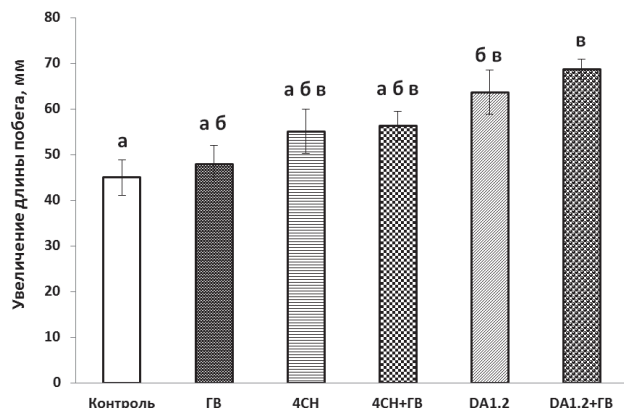


Рис. 1. Увеличение длины побегов (усредненные значения для главного и боковых побегов) 2-летних сеянцев сосны за 4 месяца после их пересадки и трехкратного полива бактериальной взвесью *Pseudomonas* sp. 4СН, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4СН + ГВ и DA1.2 + ГВ). n = 10. Буквенные обозначения средних величин, которые статистически отличаются от других, не содержат те же буквы

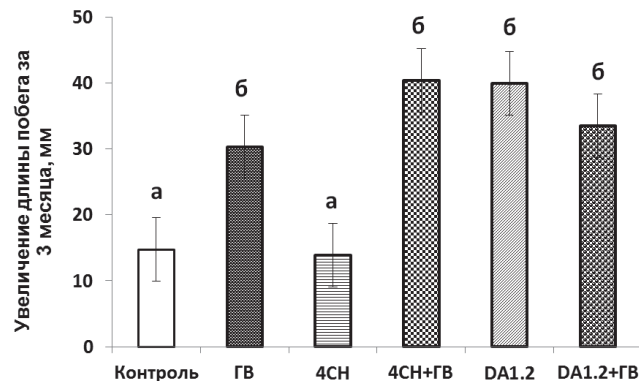


Рис. 2. Увеличение длины побегов отстающих в росте (нестандартных) саженцев 1-летних сеянцев сосны за 2 месяца после их пересадки и трехкратного полива бактериальной взвесью *Pseudomonas* sp. 4СН, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4СН + ГВ и DA1.2 + ГВ). n = 10. Смысл буквенных обозначений см. рис. 1

рост побега существенно ускорился по сравнению с контролем при обработке растений бактериями *P. protegens* DA1.2 и в их сочетании с ГВ (рис. 1). Побеги растений, обработанных ГВ в сочетании с бактериями *Pseudomonas* DA1.2, были достоверно длиннее по сравнению с побегами растений, обработанных только ГВ, в то время как между растениями, обработанными только ГВ, или только этими бактериями, не было достоверной разницы по длине побега (рис. 1). Скорость удлинения побегов у растений, обработанных *Pseudomonas* sp. 4СН и его комбинацией с ГВ, занимала промежуточное положение между таковой у контрольных растений и растений, обработанных *P. protegens* DA1.2.

Оценка влияния обработки нестандартных саженцев (см. материалы и методы) препаратами перед пересадкой выявила увеличение скорости удлинения побегов под влиянием бактерий и ГВ (рис. 2). Однако *Pseudomonas* sp. 4СН без ГВ не влияли на скорость удлинения побегов. Препараты оказывали большее стимулирующее действие на удлинение побегов нестандартных саженцев при сравнении со стандартными (в

первом случае прирост побегов в длину под влиянием обработки был в 2,5 раза больше, чем в контроле, а во втором – не более чем в полтора раза).

При обработке сеянцев сосны препаратами обоих штаммов бактерий масса побегов и корней увеличилась по сравнению с контролем (рис. 3). Гуматы не влияли на накопление корневой массы, но увеличивали массу побегов при применении отдельно или в сочетании с любым штаммом бактерий. Масса побегов растений, обработанных любым штаммом в сочетании с ГВ была больше, чем у растений, обработанных только соответствующими штаммами.

Бактериальная обработка сеянцев сосны, пересаженных за три года до настоящих экспериментов, ускоряла удлинение их побегов по сравнению с контрольными растениями (рис. 4). Скорость удлинения побегов растений, обработанных ГВ, не отличалась от таковой в контроле, а при сочетании *Pseudomonas* sp. 4СН и ГВ увеличение длины побегов было значительно больше, чем у растений, обработанных только ГВ.

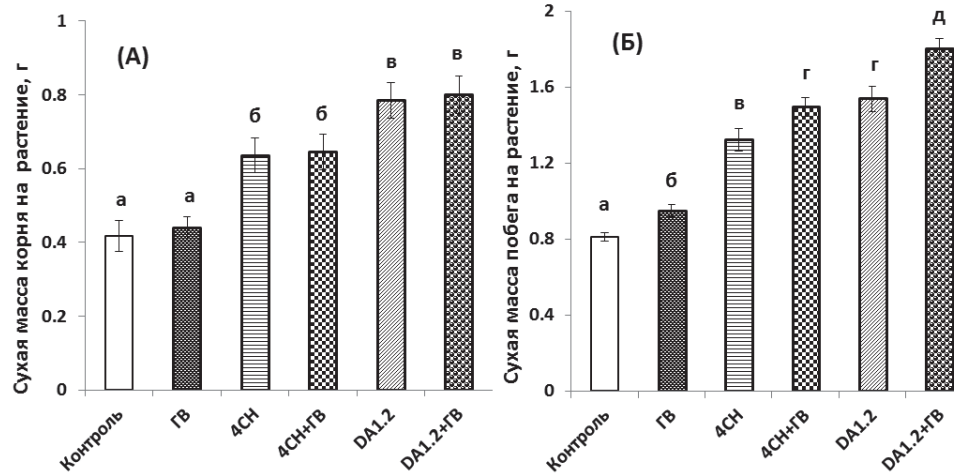


Рис. 3. Сухая масса корней (А) и побегов (Б) 2-летних сеянцев сосны, отобранных после окончания роста сеянцев в текущем году, обработанные бактериальной взвесью *Pseudomonas* sp. 4CH, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4CH + ГВ и DA1.2 + ГВ). $n = 10$. Смысл буквенных обозначений см. рис. 1

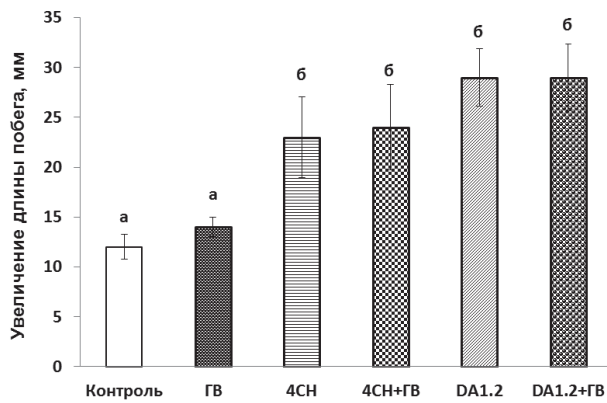


Рис. 4. Увеличение длины побега (усредненные значения для главного и боковых побегов) 3-летних сеянцев сосны через 4 месяца после трехкратного полива суспензией бактерий *Pseudomonas* sp. 4CH, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4CH + ГВ и DA1.2 + ГВ). $n = 10$. Смысл буквенных обозначений см. рис. 1

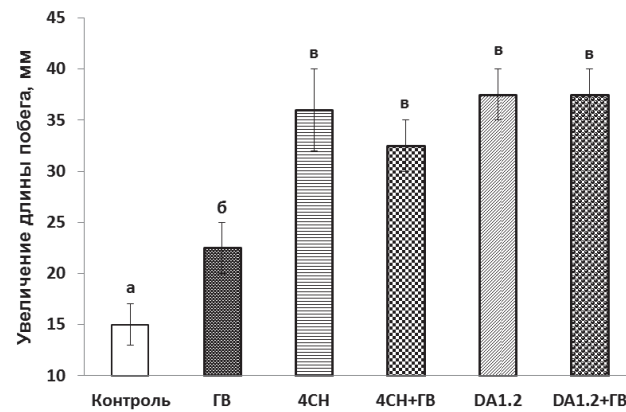


Рис. 5. Увеличение длины побега (усредненные значения для главного и боковых побегов) 4-летних сеянцев сосны через 4 месяца после трехкратного полива взвесью бактерий *Pseudomonas* sp. 4CH, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4CH + ГВ и DA1.2 + ГВ). $n = 10$. Смысл буквенных обозначений см. рис. 1

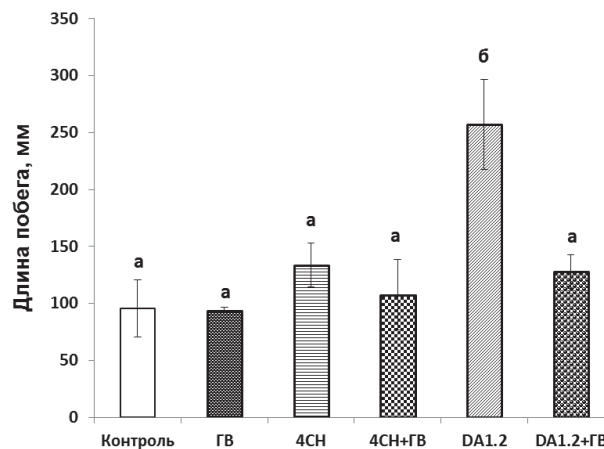


Рис. 6. Длина побегов растений тополя после полива бактериальной взвесью *Pseudomonas* sp. 4CH, *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4CH + ГВ и DA1.2 + ГВ). $n = 6$. Смысл буквенных обозначений см. рис. 1

Содержание флавоноидов, хлорофилла и индекс азотистого баланса (NBI) растений тополя после полива суспензиями бактерий *Pseudomonas* sp. (4СН), *Pseudomonas protegens* DA1.2 и гуминовыми веществами (ГВ), используемыми отдельно или в комбинации (4СН + ГВ и DA1.2 + ГВ). Средние значения. Смысл буквенных индексов см. рис. 1

	Контроль	ГВ	4СН	4СН + ГВ	DA1.2	DA1.2 + ГВ
Флавоноиды	1,81 ± 0,03 ^a	1,83 ± 0,02 ^a	1,76 ± 0,05 ^a	1,83 ± 0,05 ^a	1,81 ± 0,05 ^a	1,82 ± 0,03 ^a
Хлорофилл	28,4 ± 1,0 ^a	34,9 ± 3,5 ^b	27,3 ± 1,9 ^a	25,0 ± 1,3 ^a	26,2 ± 0,8 ^a	26,1 ± 1,6 ^a
NBI	16,1 ± 0,7 ^a	19,2 ± 2,2 ^b	15,6 ± 1,1 ^a	13,9 ± 0,9 ^a	14,7 ± 0,7 ^a	14,6 ± 1,0 ^a

Обработка 4-летних сеянцев бактериями и ГВ по отдельности и в комплексе ускоряла удлинение их побегов (рис. 5). Однако эффект ГВ, применяемых отдельно, был значительно ниже, чем эффект бактериальной обработки, применяемой отдельно или в сочетании с ГВ.

Статистически значимое увеличение длины побегов растений тополя при сравнении с контролем было обнаружено лишь при их обработке только *P. protegens* DA1.2 (рис. 6).

Ни один из вариантов обработки не привел к увеличению содержания флавоноидов в растениях тополя. Содержание хлорофилла и индекса баланса азота увеличивался только при обработке растений ГВ (табл. 2).

Обсуждение результатов

Нам удалось продемонстрировать, что обработка препаратами *Pseudomonas* sp. 4СН, и *P. protegens* DA1.2 увеличивала удлинение побегов сосны (рис. 1–2, 4–5). Кроме того, у растений, обработанных этими бактериями, масса побегов и корней была больше при сравнении с контролем (необработанные препаратами растения) (рис. 3). Использование микроорганизмов для увеличения роста и продуктивности растений является важной биотехнологией, применяемой в сельском хозяйстве [20]. За последние десятилетия значительно увеличилось использование PGPR для получения стабильного урожая сельскохозяйственных культур [21]. Однако сведений об их воздействии на деревья значительно меньше, чем об их влиянии на травянистые растения. Наши данные согласуются с результатами исследований, в которых было показано усиление роста саженцев деревьев под влиянием ризосферных микробов для оптимизации лесного хозяйства [11]. Инокуляция сеянцев *Pinus taeda* бактериями вида *B. subtilis* увеличивала биомассу корней и побегов [22]. В условиях питомника рост побегов и корней дерева *Swietenia macrophylla* также стимулировали бактерии ряда видов бацилл [23].

В настоящих экспериментах влияние бактерий можно объяснить способностью используемых штам-

мов синтезировать ауксины, в том числе ИУК, их нитрогеназной активностью и способностью растворять фосфаты (табл. 1). Известно, что ауксины стимулируют увеличение размера клеток [24], а продукция ИУК этими бактериальными штаммами была обнаружена в настоящем (табл. 1) и предыдущих [14] экспериментах. Способность PGPR синтезировать ауксины считается одним из важнейших механизмов, с помощью которых микробы регулируют рост растений [1]. Увеличение биомассы корней, обнаруженное в настоящих экспериментах, согласуется с данными других исследователей. Так, инокуляция штаммов *Azospirillum brasilense* и *Pseudomonas geniculata* увеличивала длину и массу корней льна *Linum usitatissimum* [8]. Стимуляция роста корней бактериями обеспечивает увеличение поглощения воды и питательных веществ, тем самым способствуя росту растений [8]. Увеличение длины и массы побегов и корней, обнаруженное в настоящих опытах, служит показателем улучшения качества посадочного материала [25], необходимого для успешного лесовосстановления с целью смягчения реакции на изменения климата и улавливания углекислого газа [4].

Увеличение длины побегов было наибольшим у 2-летних сеянцев сосны, пересаженных непосредственно перед настоящими экспериментами (около 45–70 мм (рис. 1) против не более 35 мм у более зрелых растений (рис. 4, 5)). Бактериальные препараты были наиболее эффективны на 4-летних сеянцах сосны, высаженных за 2 года до настоящих опытов. При этом обработка обоими штаммами бактерий приводила к увеличению длины побегов в 2,5 раза по сравнению с контролем (рис. 5). Бактериальные обработки были менее эффективны на недавно пересаженных растениях (рис. 1): они приводили только к увеличению длины побегов примерно в 1,5 раза по сравнению с контролем в случае *P. protegens* DA1.2, тогда как у растений, обработанных *Pseudomonas* sp. 4СН, скорость удлинения побегов 2-летних сеянцев сосны была близка к контролю. В большинстве случаев *P. protegens* DA1.2 были более эффективны, чем *Pseudomonas* sp. 4СН. Бактериальные препараты сти-

мулировали удлинение побегов не только стандартных, но и отстающих в росте нестандартных саженцев сосны, причем их рост-стимулирующее действие на отстающие в росте саженцы было более заметным по сравнению со стандартными растениями (рис. 2). Таким образом, эффективность действия бактерий на удлинение побегов зависела от вида микроорганизмов, но также возраста и габитуса растений.

Бактериальная обработка растений тополя была менее эффективной, чем в случае с растениями сосны, и только обработка *P. protegens* DA1.2 приводила к статистически значимому увеличению длины побегов тополя при сравнении с контролем (рис. 6).

Эффект от обработки ГВ был ниже, чем от бактериальных обработок, когда каждая применялась отдельно. Гуматы увеличивали биомассу побегов, но не корней (рис. 3). Это можно объяснить наличием в гуматах цитокининоподобных веществ [26]; причем известно, что они стимулируют рост побегов и тормозят рост корней [27]. Наши данные согласуются с сообщениями об увеличении скорости роста апельсиновых и виноградных деревьев под влиянием гуматов [9] и об ускорении роста каучуконосного посадочного материала при внекорневой подкормке гуминовой кислотой [11].

Аддитивный эффект комбинации бактерий и ГВ был менее выражен, чем в предыдущих опытах с травянистыми растениями [14]. Тем не менее, побеги 2-летних растений сосны, обработанные при их пересадке, имели в конце вегетации больший вес в случае сочетания ГВ как с *P. protegens* DA1.2, так и с *Pseudomonas* sp. 4СН при сравнении с соответствующими бактериальными обработками, если их применять по отдельности. Таким образом, сочетание ГВ и этих бактерий можно рекомендовать для использования при пересадке растений сосны.

ГВ повышали концентрацию хлорофилла и NBI (индекс баланса азота) [17] в листьях тополя (табл. 2). Гуминовые вещества стимулировали поглощение нитратов корнями и их накопление в листьях кукурузы [28]. В наших предыдущих опытах мы обнаружили повышенное накопление общего азота в побегах растений пшеницы, получавших органоминеральные удобрения в сочетании с гуматами [1]. В состав молекулы хлорофилла входит азот, что делает доступность этого элемента важным фактором формирования фотосинтетического аппарата. Увеличение NBI и хлорофилла в листьях растений тополя, обработанных ГВ, вероятно, способствует усилению фотосинтеза и улучшению накопления углерода растениями [29].

Чтобы увеличить производство саженцев деревьев, питомники в настоящее время используют большое количество удобрений, которые могут привести к загрязнению окружающей среды [30]. Кроме того, эта технология позволяет получать отдельные деревья,

несбалансированные по размеру и более подверженные заражению фитопатогенными грибами [25]. Бактерии и гуминовые вещества могут быть важны для питания растений благодаря увеличению поглощения азота и фосфора растениями без добавления избыточного количества удобрений.

Результаты наших исследований показывают, что совместное использование бактерий и гуминовых веществ повышает качество древесного посадочного материала для лесовосстановления, которое является средством увеличения секвестрации углерода. Комбинация бактерий и гуминовых веществ может работать лучше, чем каждый из этих препаратов по отдельности.

Заключение

Впервые было изучено совместное действие бактерий и гуматов на рост саженцев деревьев. Наши исследования показали способность бактериальных препаратов ускорять рост побегов растений тополя и сосны. *P. protegens* DA1.2 оказался более эффективным, чем штамм 4СН, что указывает на перспективы дальнейшего поиска более эффективных штаммов. Обработка растений гуминовыми веществами увеличивала индекс баланса азота и содержание хлорофилла в листьях проростков тополя, что, вероятно, увеличивает запас углерода за счет усиления фотосинтеза. Кроме того, сочетание ГВ с *P. protegens* DA1.2 увеличивало накопление биомассы побегов недавно пересаженных растений сосны, что свидетельствует о возможности использования этой комбинации при пересадке растений. Бактериальные препараты оказывали сильное стимулирующее действие на отстающие в росте саженцы сосны, что позволяет рекомендовать их применение как способ улучшения качества посадочного материала с целью лесовосстановления и ускорения процессов секвестрации парниковых газов.

Стадия саженцев считается очень важной фазой для дальнейшего успешного роста лесонасаждений. Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования для подтверждения долгосрочного положительного влияния гуматов и бактерий на поведение деревьев в естественных условиях. Изучение влияния инокуляции ризосферы саженцев других древесных пород различными штаммами бактерий и обработки их гуматами необходимо для поиска эффективной комбинации для достижения успешного лесовосстановления как средства повышения секвестрации углерода древесными растениями в различных климатических условиях. Тем не менее, данные, полученные в настоящем исследовании, демонстрируют многообещающие перспективы и целесообразность совместного исследования бактериальных и гуминовых препаратов для лесовосстановления и депонирования углерода древесными растениями.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Программа создания и функционирования карбонового полигона на терри-

тории Республики Башкортостан “Евразийский карбоновый полигон” на 2022–2023 годы» (Номер для публикации: FEUR-2022-0001).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Назаров АМ, Гараньков ИН, Туктарова ИО, Салманова ЭР, Архипова ТН, Иванов ИИ, Феоктистова АВ, Простякова ЗГ, Кудоярова ГР. Гормональный баланс и рост побегов растений пшеницы (*Triticum durum* Desf.) под влиянием гуматов натрия гранулированного органического удобрения. Сельскохозяйственная биол. 2020;55:945-55.

Общий список литературы/References

1. Nazarov AM, Garankov IN, Tuktarova IO, Salmanova ER, Arkhipova TN, Ivanov II, Feoktistov AV, Prostiakova ZG, Kudoyarova GR. [Hormone balance and shoot growth in wheat (*Triticum durum* Desf.) plants as influenced by sodium humates of the granulated organic fertilizer]. Selskokhoziaystvennaya Biologiya. 2020;55:945-55. (In Russ.)
2. Pearson TRH, Brown S, Murray L, Sidman G. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. Carbon Balance Manage. 2017;12:3.
3. Grant M, Domke GM, Oswalt SN, Walters BF, Morin RS. Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of forests in the United States. Proc Natl Acad Sci USA. 2020;117(40):24649-51.
4. Fargione J, Haase DL, Burney OT, Kildisheva OA, Edge G, Cook-Patton SC, Chapman T, Rempel A, Hurteau MD, Davis KT, Dobrowski S, Enebak S, De La Torre R, Bhuta AAR, Cubbage F, Kittler B, Zhang D, Guldin RW. Challenges to the reforestation pipeline in the United States. Front For Glob Change. 2021;4:629198.
5. Moser RL, Windmuller-Campione MA, Russell MB. Natural resource manager perceptions of forest carbon management and carbon market participation in Minnesota. Forests. 2022;13:1949.
6. Xu Y, Zhang Y, Li Y, Li G, Liu D, Zhao M, Cai N. Growth promotion of Yunnan pine early seedlings in response to foliar application of IAA and IBA. Int J Mol Sci. 2012;13:6507-20.
7. Shah A, Nazari M, Antar M, Msimbira LA, Naamala J, Lyu D, Rabileh M, Zajonc J, Smith DL. PGPR in agriculture: a sustainable approach to increasing climate change resilience. Front Sustain Food Syst. 2021;5:667546.
8. Omer AM, Osman MS, Badawy AA. Inoculation with *Azospirillum brasilense* and/or *Pseudomonas geniculata* reinforces flax (*Linum usitatissimum*) growth by improving physiological activities under saline soil conditions. Bot Stud. 2022;63:15.
9. Alva AK, Obreza TA. By-product iron-humate increases tree growth and fruit production of orange and grapefruit. Hort Sci. 1998;33:1.
10. Cahyo AN, Ardika R, Saputra J, Wijaya T. Acceleration on the growth of rubber planting materials by using foliar application of humic acid. J Agric Sci. 2014;36:112-9.
11. Chaiya L, Gavinlertvatana P, Teaumroong N, Pathom-aree W, Chaiyasen A, Sungthong R, Lumyong S. Enhancing Teak (*Tectona grandis*) seedling growth by rhizosphere microbes: a sustainable way to optimize agroforestry. Microorganisms. 2021;9:1990.
12. Shinde S, Cumming JR, Collart FR, Noirot PH, Larsen PE. *Pseudomonas fluorescens* transportome is linked to strain-specific plant growth promotion in aspen seedlings under nutrient stress. Front Plant Sci. 2017;8:348.
13. Noirot-Gros M-F, Shinde SV, Akins C, Johnson JL, Zerbs S, Wilton R, Kemner KM, Noirot P, Babnigg G. Functional imaging of microbial interactions with tree roots using a microfluidics setup. Front Plant Sci. 2020;11:408.
14. Feoktistova A, Bakaeva M, Timergalin M, Chetverikova D, Kendjieva A, Rameev T, Hkudaygulov G, Nazarov A, Kudoyarova G, Chetverikov S. Effects of humic substances on the growth of *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-d and wheat plants inoculated with this strain. Microorganisms. 2022;10:1066.
15. Chetverikov SP, Chetverikova DV, Bakaeva MD, Kenjieva AA, Starikov SN, Sultangazin ZR. A promising herbicide-resistant bacterial strain of *Pseudomonas protegens* for stimulation of the growth of agricultural cereal grains Appl Biochem Microbiol. 2021;57:110-6.
16. Bakaeva M, Kuzina E, Vysotskaya L, Kudoyarova G, Arkhipova T, Rafikova G, Chetverikov S, Korshunova T, Chetverikova D, Loginov O.

- Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants. *Plants*. 2020; 9:379.
17. Zhang K, Liu X, Ma Y, Zhang R, Cao Q, Zhu Y, Cao W, Tian Y. A comparative assessment of measures of leaf nitrogen in rice using two leaf-clip meters. *Sensors*. 2019;20:175.
 18. Veselov DS, Sharipova GV, Veselov SU, Kudoyarova GR. The effects of NaCl treatment on water relations, growth and ABA content in barley cultivars differing in drought tolerance. *J Plant Growth Regul*. 2008;27:380-6.
 19. Arkhipova T, Martynenko E, Sharipova G, Kuzmina L, Ivanov I, Garipova M, Kudoyarova G. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on the content of abscisic acid and salt resistance of wheat plants. *Plants*. 2020;9:1429.
 20. Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G, Lamont J, Praslickova D, Ricci E, Subramanian S, Smith DL. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Front Plant Sci*. 2018;9:1473.
 21. Das AJ, Kumar M, Kumar R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): An alternative of chemical fertilizer for sustainable environment friendly agriculture. *Res J Agric Forest Sci*. 2013;1:21-3.
 22. Shekhawat S, Alessa N, Rathore H, Sharma K. A green approach—cost optimization for a manufacturing supply chain with MFIFO warehouse dispatching policy and inspection policy. *Sustainability*. 2022;14:14664.
 23. Trujillo-Elisea FI, Labrín-Sotomayor NY, Becerra-Lucio PA, Becerra-Lucio AA, Martínez-Heredia JE, Chávez-Bárceñas AT, Peña-Ramírez YJ. Plant growth and microbiota structural effects of Rhizobacteria inoculation on mahogany (*Swietenia macrophylla* King [Meliaceae]) under nursery conditions. *Forests*. 2022;13:1742.
 24. Spaepen S, Vanderleyden, J. Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Har. Perspec. Biol*. 2011;3.
 25. Otero M, Salcedo I, Txarterina K, González-Murua C, Duñabeitia MK. Quality assessment of *Pinus radiata* production under sustainable nursery management based on compost tea. *J Plant Nutr Soil Sci*. 2019;1-11.
 26. Pizzeghello D, Francioso O, Ertani A, Muscolo A, Nardi S. Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. *J Geochem Explor*. 2013;129:70-5.
 27. Werner T, Nehnevajova E, Köllmer I, Novak O, Strnad M, Krämer U, Schmölling T. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in *Arabidopsis* and tobacco. *Plant Cell* 2010;22:3905-20.
 28. Quag giotti S, Ruperti B, Pizzeghello D, Francioso O, Tugnoli V, Nardi S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *J Exp Bot*. 2004;55:803-13.
 29. Hebat-Allah AA, Alshammari SO, Abd El-Sadek ME, Kenawy SKM, Badawy AA. The promotive effect of putrescine on growth, biochemical constituents, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under water stress. *Agriculture*. 2023;13:587.
 30. Aslantaş R, Çakmakçı R, Şahin F. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*. 2007;111(4):371-7.

КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ ЯДЕР ЛЕОПАРДА *PANTHERA PARDUS* НА КАВКАЗЕ

В.С. Лукаревский

АНО Центр изучения и охраны диких кошек, Черноголовка, Московская обл., Россия

Эл. почта: vlukarevsky@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.08.2023; принята к печати 11.11.2023

Приведены анализ и оценка эффективности использования разных методов реинтродукции и выпуска в природу крупных кошек. Анализируется информация о дальних заходах крупных кошек (леопарда, тигра и снежного барса) за пределы современных границ ареала. Указывается, что зачастую это дальние и сверхдальние заходы самцов. Реализация программы восстановления леопарда на Кавказе столкнулась с неразрешимой проблемой – животные уходят на значительные расстояния и разбредаются. В то же время апробация метода адаптивных вольер, предотвращающих подобные процессы, не реализована. Для решения этой проблемы предлагается учитывать особенности пространственно-этологической структуры популяции, относительно которых известно, что самки филопатричны, а это значит, что при использовании второго метода самка останется на территории, где «родилась», – там, где находится ее мать. С учетом этих особенностей предлагается имитация процесса расселения, для чего необходимо использовать модификацию мягкого метода выпуска, когда молодая самка сможет самостоятельно осваивать прилегающие территории, периодически возвращаясь в вольер, где содержится ее мать. Впоследствии она сформирует индивидуальный участок обитания, и таким образом будет воссоздано репродуктивное ядро.

Ключевые слова: реинтродукция, леопард, репродуктивное ядро, популяция, филопатрия.

CONCEPT OF AND METHODS FOR DEVELOPING THE REPRODUCTIVE CORES OF THE LEOPARD *PANTHERA PARDUS* IN CAUCASUS

V.S. Lukarevsky

Lynx Rehabilitation Center, Chernogolovka (Moscow Oblast), Russia

Эл. почта: vlukarevsky@mail.ru

In this article, I provide an analysis and assessment of the effectiveness of various methods for reintroducing and releasing of large felids into the wild. I also analyze the long-distance dispersal of several large cats (leopards, tigers, and snow leopards) beyond their previously inhabited territory. It appears that most of these long-distance translocations are performed by males. Thus, implementation of the leopard restoration program in the Caucasus is faced with an insolvable problem: these animals can disperse over considerable distances and over extensive areas. Moreover, “adaptive enclosures” designed to prevent such translocations have been recommended but remain untested. To address this issue, I propose a new method that takes advantage of the characteristics of the spatial and social structure of these felid populations. Because females are philopatric, it may be expected, when using the method proposed by me here, that a female will remain in the territory where it was “born”, that is, where its mother lives. Given these characteristics, managers should imitate the process of home range establishment as a modified form of soft-release. A young female can independently develop her adjoining territory while periodically returning to the enclosure where her mother is held. As a result, the female will establish her own home range and, in this way, develop a reproductive core of the population.

Key words: home range, rehabilitation, reproductive core, leopard, philopatry.

Введение

В 1999–2007 годах было проведено комплексное обследование исторического ареала переднеазиатского леопарда *Panthera pardus tulliana* Valenciennes, 1856 (рис. 1).

Были обследованы горы Юго-западного Таджикистана (хребты Вахш, Кафирниган), весь Туркменистан (горы Кугитанг, отроги Парапамиза, Копетдаг, Бол.

и Мал. Балханы, южные чинки Устюрта), Северный Иран (горы Копетдаг, северные и юго-восточные отроги Эльбруса, горы Карадаг), ряд горных территорий в Турции (Юго-восточное Причерноморье, юго-западные отроги Тавра), весь Кавказ (Азербайджан, Армения, Грузия и Россия, включая все республики). Большая часть материалов о состоянии популяции леопарда опубликована ранее [6, 7, 39–41]. По резуль-



Рис. 1. Самка *Panthera pardus tulliana*. Фото © Сергей Трепет

татам исследований стало ясно, что на Кавказе переднеазиатский леопард сохранился лишь на самом юге Закавказья в виде небольших очагов, часть которых угасла. Относительно устойчив лишь один очаг на стыке Армении, Азербайджана и Ирана (на стыке отрогов Карадага и Зангезура), поэтому было принято решение о разработке программы реинтродукции леопарда на Российском Кавказе. Такая программа была подготовлена и защищена автором и утверждена Министерством природных ресурсов и экологии РФ в 2007 году [12].

На первом этапе реализации программы в Центре разведения была сформирована группа основателей: два взрослых самца, отловленных в природе в Туркменистане, две взрослые самки, отловленные в природе в Иране, и пара зоопарковских леопардов из Лиссабона. По итогам ветеринарного обследования один самец из природы ошибочно был выбракован. Из-за некорректных манипуляций в процессе ссаживания самки и самца одна из самок была убита самцом. Таким образом, на первом этапе формирования группы основателей были использованы две пары животных [19]. Животные в центре готовились к жизни в дикой природе в соответствии с разработанной программой [12, 20]. Следует отметить, что перед выпуском в природу всех леопардов тестировали на способности самостоятельно охотиться на разных диких животных (благородных оленей, ланей, кабанов, енотов-полоскунов, енотовидных собак и др.) и избегать человека [16, 19, 20]. Однако после серии неудачных выпусков в

природу возникла необходимость актуализации программы реинтродукции леопарда на Кавказе. С этой целью была разработана комплексная поэтапная программа с конкретными предложениями [8].

Восстановление и реинтродукция крупных млекопитающих – один из наиболее сложных и наименее изученных вопросов природоохранной практики. Имеются несколько относительно удачных/неудачных примеров по реинтродукции или восстановлению популяции бурого медведя в Италии, Франции [43], евразийской рыси в Польше, Швейцарии, Германии, Австрии и других регионах Европы [27, 28, 37], канадской рыси в Колорадо [29] и восстановления флоридской пумы во Флориде (транслокация из Техаса во Флориду) [26, 38].

В международной природоохранной практике по реинтродукции и восстановлению популяций животных используются два метода выпуска животных в природу: «мягкий» и «жесткий» [32]. Комиссия IUCN (МСОП) по реинтродукции рекомендует использовать для этих целей зверей из дикой природы, то есть транслокацию животных из жизнеспособных популяций на новое место, тогда как по аналогии с проектом восстановления леопарда на Кавказе имеется лишь один проект по восстановлению пиренейской рыси [18]. Реализация таких программ осуществляется в строгом соответствии с регламентом IUCN [32].

«Мягкий» метод выпуска животных предполагает наличие в районе выпуска обширного вольерного комплекса, аналогичного вольерам комплекса Центра

реабилитации, куда зверей поселяют задолго до их выпуска в природу. В таком вольере не допускается проведение никаких манипуляций с животными, способных создавать отрицательное воздействие на их психику. Животные должны привыкнуть к вольерам, как к родному дому, после чего вольер открывают, и животным предоставляют возможность свободно его покинуть. Внутри вольера продолжают выкладывать корм на тот случай, если животные длительное время будут оставаться без добычи.

«Мягкий» метод используется для «привязки» животных к месту выпуска, и его возможно использовать в том случае, если Центр реабилитации находится на значительном расстоянии от места реинтродукции. Этот метод применительно к крупным кошкам может быть предусмотрен для зверей, рожденных в центрах реабилитации, то есть фактически в неволе.

«Жесткий» метод предполагает прямой выпуск зверей в природу вдали от Центра реабилитации или жизни в дикой природе. Животных перевозят на автомобиле или вертолете к месту реинтродукции, где открывают шибер транспортной клетки, и животные оказываются предоставленными сами себе. В зависимости от природных условий, состояния популяций основных видов жертв, наличия животных того же вида, существования сформированной коммуникативной системы животные либо остаются рядом с местом выпуска, либо могут уйти на значительные расстояния.

На сегодняшний день в мировой практике реинтродукции амурского тигра, переднеазиатского леопарда, пиренейской и евразийской рысей [15–18, 22, 37] был реализован фактически один метод выпуска животных в природу – жесткий, когда животных перевозят на значительные расстояния от мест рождения в дикой природе или центров реабилитации. Выпуск амурского тигра в 2019–2020 годах [2] лишь условно можно назвать «мягким методом», поскольку продолжительность содержания тигров в вольере была незначительной (всего около 8 дней). «Мягкий метод» был применен для реинтродукции канадской рыси [29], когда зверей передерживали около месяца или чуть более. Авторы указывают, что это положительно повлияло на выживаемость зверей в течение первого года жизни после их транслокации.

«Жесткий» метод реинтродукции не позволяет контролировать процесс формирования репродуктивного ядра, поскольку животные, как правило, разбредаются на значительные расстояния [11, 15, 16, 22], и это делает процесс освоения территории выпущенными животными неуправляемым. Именно поэтому программы восстановления крупных кошек должны реализовывать разные методы реинтродукции с использованием адаптационных вольер, один из которых фактически будет реализовывать «мягкий», а другой –

«жесткий» метод. Однако **непременным условием успеха проектов по реинтродукции, транслокации и выпуска животных в природу независимо от метода выпуска являются избыточная локальная плотность популяций основных видов жертв, а также оптимальные по физико-географическим параметрам условия местообитаний** [30, 32, 33].

Предлагаемый нами метод, в основе которого лежит последовательное формирование пространственно-этологической структуры популяции, в этом смысле принципиально отличается от используемых ранее для восстановления популяции крупных кошек.

Наиболее естественный метод восстановления популяции – это пассивный метод: восстановление местообитаний и расширение материнского ядра, когда на окраине участка обитания матери формируются новые семьи. Так произошло на юге Нахичевани [23], тогда как в Талыше из-за относительно небольшой площади местообитаний и относительно низкой численности основных видов жертв леопарда, а также из-за браконьерства репродуктивное ядро леопардов так и не сформировалось, хотя предпосылки тому были [1, 44]. Однако этот метод не позволяет формировать новые репродуктивные ядра вдали от материнских группировок.

Анализ реализации Программы восстановления леопарда на Кавказе [12], формирование новых группировок амурского тигра в Приамурье [17] за предыдущие 10 лет показывает, что этап формирования репродуктивных ядер сталкивается со значительными трудностями: практически все выпущенные звери, за исключением случаев, когда учитывались особенности среды (наши не опубликованные данные), покидают район выпуска и разбредаются на значительные расстояния, именно поэтому Протокол IUCN (IUCN/SSC 2013) рекомендует одновременно выпускать значительное количество животных, что делает возможным образование семейных пар до того, как звери разбредутся на значительные расстояния [29].

Основная цель данной работы – **показать целесообразность использования особенностей пространственно-этологической структуры популяции крупных кошек при формировании репродуктивных ядер у крупных кошек.**

Материал и результаты

В 2013–2020 годах в Сочинском центре восстановления леопарда на Кавказе родился 21 котенок, из них в 2016–2020 годах в природу на Северном Кавказе выпущены 10 леопардов – 4 самки и 6 самцов, которые были подготовлены для жизни в дикой природе. Животные были выпущены на двух территориях [10, 20].

Первое место выпуска – восточный отдел Кавказского заповедника (рис. 2). Бонитет местообитаний леопарда здесь высокого качества. Численность и ло-

кальная плотность популяций копытных – потенциальных объектов питания леопарда – очень высокая [21]. В июне 2016 года в Кавказском заповеднике выпущены два самца и одна самка. Первые два леопарда (самец и самка) были выпущены в заповедник в возрасте 3 года, а один самец – в возрасте двух лет. Первую зиму самка провела в месте выпуска, но к началу весны покинула территорию заповедника и заняла территорию, освоенную одним из самцов к северу от места выпуска, в предгорьях за 30–40 км от этого места. К концу лета самка покинула территорию и перешла с северного на южный макросклон в Абхазию, где в конце ноября местным жителем была поймана живоловкой (клетка из сетки-рабицы с падающей дверцей, не травмирующая животное). Впоследствии она была возвращена в центр восстановления леопарда на Кавказе, где была обследована ветеринарами и провела там около месяца (вначале помещена в карантинный, а позже в реабилитационный вольер). В середине декабря она снова была выпущена в природу на первоначальное место в Кавказском заповеднике, где провела первую зиму в природе, но через месяц после выпуска была найдена мертвой. Официально причина гибели не установлена, однако зверь был полностью истощен, что косвенно свидетельствует о том, что в течение двух месяцев, с момента ее поимки в живоловку

и до гибели в течение двух месяцев зверь не питался. Самец, чью территорию осваивала самка, последовал следом за ней на южный макросклон, где был убит местными браконьерами в том же году. В 2018 году на той же территории был выпущен самец в возрасте двух лет, который буквально через месяц покинул территорию заповедника и регистрировался в предгорьях примерно в тех же районах, где и предыдущие особи (С. Трепет, личное сообщение).

Во второй половине августа 2020 года на той же территории были выпущены еще два леопарда (самка и самец в возрасте около 2 лет). Через два месяца после их выпуска самка была найдена мертвой недалеко от места выпуска. Причина та же, что и с первой самкой. Вскрытие показало полное истощение, что может свидетельствовать о длительном голодании.

Сравнивая состояние животных после их гибели, сопоставляя сроки и методы манипуляции с ними, я склонен считать, что обе самки погибли в результате сильного стресса. Тест на способность скрадывания добычи и способность охотиться обе самки прошли успешно. Самка, выпущенная в дикую природу в 2016 году, провела на свободе около 1,5 лет, и ее тропления показали, что зверь способен охотиться на все потенциальные объекты добычи. Однако, пойманная в живоловку, она выглядела подавленной и не про-

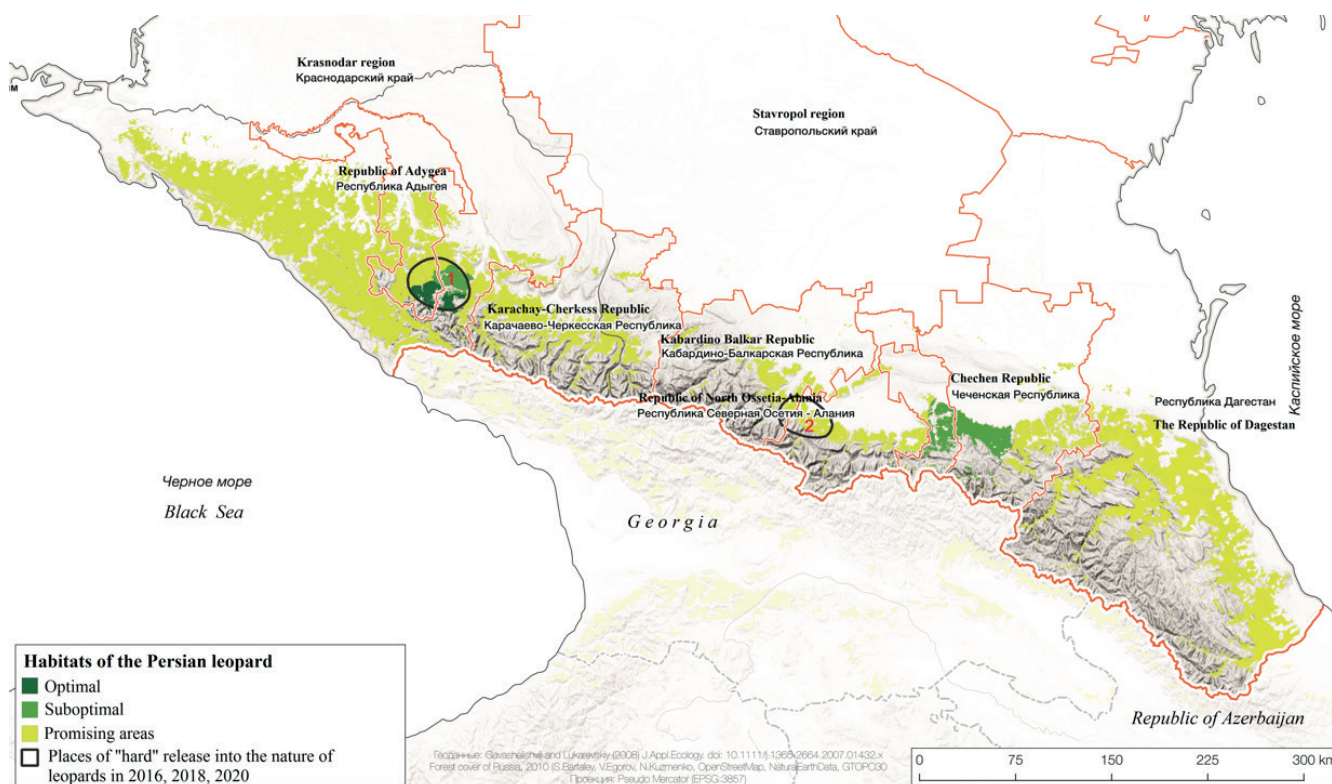


Рис. 2. Существующие очаги и схема распределения местообитаний переднеазиатского леопарда на Российском Кавказе. Код: темный цвет – оптимальные условия; менее темный – субоптимальные, светлый – перспективные места; черными линиями обведены участки, где леопарды были выпущены

являла ни малейшей агрессии, что неестественно для такого хищника. Численность и локальная плотность потенциальных жертв в месте выпуска в заповеднике очень высоки [21], ситуация аналогична и на прилегающих территориях охотничьего хозяйства (личные наблюдения). Таким образом, способность охотиться и наличие потенциальных жертв не могут быть причиной гибели от истощения. Ветеринарные и патолого-анатомические исследования не подтвердили наличие других причин гибели. Обе самки – полные родные сестры из разных выводков, соответственно у обеих самок сходные психофизические реакции на раздражители, следственно, они погибли в результате стресса, полученного от манипуляции по обездвиживанию, отлову, одеванию ошейника и транспортировке.

Выпущенный в августе 2020 года самец покинул территорию, и его современное местоположение неизвестно. Таким образом, на данной территории было выпущено 6 леопардов (4 самца и 2 самки). Местонахождение оставшихся в живых трех леопардов неизвестно. Летом 2020 года нами зарегистрированы следы взрослого самца леопарда в районе горы Большой Тхач, в январе 2021 года взрослый самец леопарда был зарегистрирован в окрестностях г. Майкоп.

Второе место выпуска – Северная Осетия. Качество условий обитания леопарда в Северной Осетии низкое ввиду того, что численность и локальная плотность популяций копытных крайне низкая [3] (наши исследования). Выпущенные в начале лета 2018 года в высокогорье самка и самец покинули территорию и ушли в среднегорья и низкогорья, где самка провела около года в среднегорьях Скалистого хребта, а к началу лета ушла за многие сотни километров в Кабардино-Балкарию, где в декабре 2020 года была зарегистрирована местным жителем с помощью смартфона. Самец в начале декабря погиб по неустановленной причине. Официально последний раз его сигнал был зарегистрирован в районе Южной Осетии в месте схода лавины.

В конце августа 2020 года в Северной Осетии в Турмонском заказнике снова была выпущена пара животных. Через некоторое время после выпуска самец покинул территорию, и у него перестал работать спутниковый ошейник, но через 4 месяца он был зарегистрирован за несколько десятков километров от места выпуска, тогда как самка оставалась в районе выпуска в среднегорном ландшафте на Лесистом хребте. В начале весны 2021 года ее ошейник перестал передавать информацию о ее местонахождении, и место ее пребывания сейчас неизвестно.

Таким образом, на Северном Кавказе в Кавказском заповеднике и в Северной Осетии с 2016 по 2020 год через каждые два года были выпущены 10 леопардов. Из-за гибели части животных и их расселения на значительные расстояния они так и не образовали семейные пары.

Обсуждение

Анализ пространственно-этологической структуры популяции крупных кошек показывает, что самки филопатричны, то есть индивидуальные участки обитания молодых самок располагаются рядом или значительно перекрываются с индивидуальными участками обитания матери [5, 42], тогда как самцы могут уходить на значительные расстояния [4, 9, 13, 36, 42, 45, 46]. Анализ регистраций леопарда в Турции за последние 50 лет [25, 34, 36] подтверждают наше мнение о том, что самцы способны уходить на многие сотни и тысячи километров от места рождения. По различным сообщениям в интернете, самцы часто уходят значительно дальше за пределы современного ареала, как, например, в Грузию и на Северный Кавказ [24]. В 2019–2021 годах самцы леопарда были зарегистрированы в трех районах Армении (горы Нураванк, Хосров и север республики), в двух районах Турции, включая Тавр в районе Анталии, в Грузии и на Северном Кавказе, на юге Казахстана на южных чинках Устюрта^{1,2} и в других местах.

Наиболее успешный опыт по формированию нового репродуктивного ядра у крупных кошек на значительном расстоянии от современного ареала был реализован нами [14] в заповеднике «Бастак», где на участке обитания взрослого самца амурского тигра была выпущена самка, прошедшая реабилитацию в центре реабилитации амурского тигра в селе Алексеевка [14]. В районе заповедника «Бастак» более двух лет обитал молодой самец [9], который расселился из Сихотэ-Алиня. В феврале-марте 2013 года автор провел обследование территории (местообитаний) на пригодность обитания тигра, и в мае после всех необходимых согласований была выпущена молодая самка, которая образовала семью с резидентным самцом и за период с 2014 по 2020 год принесла три помета, которых успешно выкормила, что позволило сформироваться в данной местности новому репродуктивному ядру. Таким образом, самец обеспечил жизненное пространство для самки и своего потомства. Аналогичный проект по формированию репродуктивного ядра снежных барсов был реализован в Саяно-Шушенском заповеднике, где на территорию участка обитания резидентного самца была выпущена молодая самка, которая образовала пару с резидентным самцом, а впоследствии успешно выкармливает котят³.

¹ <https://www.facebook.com/SantaAnaDNR/photos/a.1652234058361666/2789427517975642>

² <https://ru.sputniknews.kz/society/20200204/12739789/kazakhstan-leopard-fotolovushka.html>; https://forbes.kz/news/2020/02/04/newsid_218314

³ <http://sayanzapoved.ru/novye-snimki-barsinoj-semi-kotjata-snezhnogo-barsa-podrastajut.htm>

Выводы и предложения

Ввиду естественных популяционных процессов, регулирующих и предопределяющих естественную динамику в жизни крупных кошек, ход реализации программ восстановления популяций крупных кошек, в частности леопарда, на Кавказе, необходимо изменить и дополнить с учетом вышеописанных особенностей динамики пространственно-этологической структуры популяции, тем более что в действующей программе [12] прописаны альтернативные методы формирования репродуктивного ядра.

Формирование репродуктивного ядра леопарда на Кавказе должно реализовываться в соответствии с особенностями динамики пространственно-этологической структурой популяции леопарда [6]. Для этого необходимо:

- предусмотреть строительство адаптационных вольеров для реализации «мягкого» метода выпуска в местах формирования репродуктивного ядра;
- использовать «жесткий» метод выпуска самок в местах, где известна конфигурация участков обитания свободно живущих самцов, например ранее выпущенных в Кавказском заповеднике (кордоны Третья рота, Черноречье) или «диких» самцов, при этом «жесткий» метод может быть реализован практически везде в местах с избыточной численностью диких копытных, потенциальных объектов питания леопарда. Из Сочинского центра разведения/из зоопарка переселить самку, где она будет содержаться в данном вольере до наступления эструса (или уже половозрелая/беременная). Одновременно необходимо реализовать мероприятия по привлечению самцов, если они регистрируются длительное время на данной территории. Одним из возможных методов привлечения самцов может быть их заманивание с помощью голоса самки, который необходимо регулярно прокручивать через усилитель, и в дополнение раскладывать на тропах запаховые метки самок.

В случае, если не удастся сформировать пары с дикими самцами, следует сформировать пару с зоопарковским самцом или другими самцами из Центра восстановления леопарда на Кавказе. После спаривания самец может быть возвращен в Центр разведения/зоопарк. Самка содержится вместе с котятками в адаптационном вольере не менее 15–20 месяцев. В возрасте котят 12–15 месяцев необходимо организовать такие условия, при которых котятки смогут самостоя-

тельно покинуть вольер и возвращаться обратно. Это позволит котяткам осваивать прилегающие территории, а молодые самки смогут формировать свои индивидуальные участки обитания рядом с вольерным комплексом/«материнским участком», и тем самым мы воспроизведем естественный процесс расселения и освоения территории, свойственный крупным кошкам в природе. В это же время самка будет готова к повторному спариванию, и на тот момент, когда котяткам исполнится 20–24 месяца, доступ в вольер для них будет закрыт, а их мать будет воспитывать новый выводок.

С целью предотвращения возможного близкородственного спаривания в будущем, перед тем как котятки получат возможность покинуть вольер (12–15 мес.), самцов из выводка можно переселять в центр реабилитации, где они будут продолжать подготовку к выпуску в природу, а впоследствии в возрасте 24 месяцев выпущены с использованием жесткого метода на территории, где отсутствуют родственные особи (самки).

В адаптационные вольеры надо поселить сформированную в Центре восстановления леопарда на Кавказе или другом центре пару леопардов, дать им возможность родить котят, обеспечить их передержку до наступления эструса, спаривания и рождения котят. Когда котятки достигнут возраста 3–4 месяца, следует открыть вольер и предоставить животным возможность его покинуть, при этом продолжая выкладывать корм в вольере.

Использование одного из вышеуказанных подходов «привязки» самок к определенной территории позволит сформировать пространственную структуру популяции леопарда, а в сочетании с использованием жесткого метода позволит значительно увеличить эффективность мероприятий по формированию новой популяции переднеазиатского леопарда на Кавказе или в другом регионе, предполагаемом для восстановления леопарда.

Вышеуказанные варианты дают возможность управлять процессом формирования репродуктивного ядра и значительно снизить риски гибели молодых зверей в период их расселения и формирования индивидуальных участков обитания. Однако, невзирая на предложения использовать вышеописанный метод формирования репродуктивного ядра, продолжают безуспешные попытки выпуска в природу леопардов, которые продолжают растворяться «в никуда».

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Аскеров Э, Трепет СА, Ескина ТГ, Бибина КВ, Наркевич АИ, Пхитиков АБ, Зазанашвили Н, Ахмедова К. Оценка плотности популяций видов жертв и конкурентов леопарда (*Panthera pardus*) в Гирканском национальном парке (Азербайджан). Зоол журн. 2021;100(8):947-55.
2. Арамилев СВ, Кузьменко ВБ. Опыт реинтродукции амурского тигра «мягким» методом. Материалы II Международной рабочей встре-

- чи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих. Москва, 12–15 октября 2021 г. М.: Товарищество науч. изд. КМК; 2021. С. 76.
3. Вейнберг ПИ. Обследование Республики Северная Осетия-Алания с целью оценки территории для включения в программу восстановления леопарда на Кавказе. В кн.: Восстановление леопарда на Кавказе (Материалы обследований исторического ареала леопарда на юге России и анализ его современного состояния). М.: Товарищ. науч. изд. КМК; 2018. С. 213-56.
 4. Горбунов АВ, Лукаревский ВС. О встречах леопарда в Западной Туркмении. Бюлл МОИП Отд биол. 1991;96(1):34-7.
 5. Грудич ДжМ, Керли ЛЛ, Микелл ДДж, Смирнов ЕН, Шлейер БО, Куигли ХБ, Хорнокер МГ, Уфыркина ОВ. Социальная структура популяции амурского тигра в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике. В кн.: Микелл ДДж, Смирнов ЕН, Гудрич ДжМ, ред. Тигры Сихотэ-Алинского заповедника: экология и сохранение. Владивосток: ПСП; 2005. С. 224.
 6. Лукаревский ВС. Леопард, полосатая гиена и волк в Туркменистане. Изд-во: Сигнар; 2001.
 7. Лукаревский ВС, Аскеров ЭК, Агили Али. Состояние популяции леопарда *Panthera pardus* (Mammalia, Carnivora) в Северном Иране. *Selevinia*. 2020;28:211-23.
 8. Лукаревский ВС, Шюшайте РВ, Вавилова НГ, Фетисова ЮП, Яровенко ЮА, Аккиев МИ. Перспективы развития Программы по восстановлению (реинтродукции) переднеазиатского леопарда на Кавказе. М.: Человек; 2020.
 9. Полковникова ОН. Амурский тигр в Еврейской автономной области. Ретроспективный анализ. Региональные проблемы. 2015;18(1):31-4.
 10. Пхитиков АБ, Трепет СА, Рожнов ВВ, Эрнандес-Бланко Х-А, Ячменникова АА, Чистополова МД, Вейнберг ПИ, Дзуцев ЗВ, Дронова НА. Питание переднеазиатского леопарда (*Panthera pardus saxicolor*) после реинтродукции на Западном и Центральном Кавказе. В кн.: Материалы II Международной рабочей встречи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих. Москва, 12–15 октября 2021 г. М.: Товарищ. науч. изд. КМК; 2021. С. 72.
 11. Райзер А, Райзер-Дегиоргис М-П, Брайтенмозер-Вюрстен Х, Циммерманн Ф, Брайтенмозер У. Реинтродукция евразийской рыси в Восточной Швейцарии – оценка через 15 лет после первых транслокаций. В кн.: Материалы международной рабочей встречи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих 25–27 ноября 2015, Москва. Москва; 2015. С. 36. http://marameru.org/wp-content/uploads/publications/Workshop_Abstracts.pdf
 12. Рожнов ВВ, Лукаревский ВС. Программа восстановления леопарда на Кавказе. Москва: КМК; 2007.
 13. Рожнов ВВ, Сорокин ПА, Лукаревский ВС, Найденко СВ, Эрнандес Бланко ХА, Лукаревский СВ. Индивидуальная идентификация дальневосточных леопардов (*Panthera pardus orientalis*) молекулярно-генетическими методами и ее использование для оценки численности популяции. Известия РАН. Сер. Биол. 2013;(2):138-43.
 14. Рожнов ВВ, Чистополова МД, Эрнандес-Бланко ХА, Найденко СВ, Лукаревский ВС, Сорокин ПА, Микелл ДГ, Рыбин НН, Калинин АЮ, Полковникова ОН. Освоение пространства амурским тигром (*Panthera tigris altaica*) при реинтродукции на северо-западе ареала. В кн.: Ареалы, миграции и другие перемещения диких животных. Материалы Международной научно-практической конференции (Владивосток, 25–27 ноября 2014). Владивосток; 2014. С. 266-9.
 15. Рожнов ВВ, Найденко СВ, Эрнандес-Бланко ХА, Сорокин ПА, Блиндченко ЕЮ, Сонин ПЛ, Ячменникова АА, Чистополова МД. Реинтродукция амурских тигров (*Panthera tigris altaica*) в России. В кн.: Материалы международной рабочей встречи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих 25–27 ноября 2015, Москва. Москва; 2015. С. 12.
 16. Рожнов ВВ, Ячменникова АА, Чистополова МД, Трепет СА, Пхитиков АБ, Кудактин АН, Сорокин ПА, Найденко СВ, Дронова НА, Эрнандес-Бланко ХА. Восстановление переднеазиатского леопарда (*Panthera pardus ciscaucasica*) в Кавказском заповеднике: опыт выпуска и первые результаты мониторинга животных. Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. 2018;(23):41-9.
 17. Рожнов ВВ, Найденко СВ, Эрнандес-Бланко ХА, Чистополова МД, Сорокин ПА, Ячменникова АА, Блиндченко ЕЮ, Калинин АЮ, Кастрикин ВА. Восстановление популяции амурского тигра (*Panthera tigris altaica*) на северо-западе ареала. Зоол журн. 2021;100(1):79-103.
 18. Симон Лопес, Арена-Рохас, Гарсия-Тардио, Гарроте Лопес-Парра, Фернандес-Пена, Мораль, дель-Реи. Программа реинтродукции пиренейской рыси. В кн.: Материалы между-

- народной рабочей встречи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих 25–27 ноября 2015, Москва. Москва; 2015. С. 32.
19. Семенов УА. «Центр восстановления леопарда на Кавказе» – стратегия реинтродукции. Труды Сочинского национального парка. Вып. 10. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2016.
 20. Семенов УА. Основные принципы и этапы подготовки леопарда (*Panthera pardus tulliana Valenciennes*, 1856) к самостоятельной жизни в естественной среде. В кн.: Материалы II Международной рабочей встречи по реабилитации и реинтродукции крупных хищных млекопитающих. Москва, 12–15 октября 2021 г. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2021. С. 66.
 21. Трепет СА, Ескина ТГ, Бибина КВ. Особенности динамики популяций копытных в Кавказском заповеднике в 2014–2017 годах. Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. 2018;(23):58-71.
 22. Трепет СА, Пхитиков АБ, Кудактин АН, Дронова НА, Рожнов ВВ, Эрнандес-Бланко ХА, Чистополова МД, Ячменникова АА, Найдено СВ, Сорокин ПА. Леопард (*Panthera pardus ciscaucasica*) на Западном Кавказе: исторический ареал, опыт и перспективы восстановления. Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. 2020;(10):290-301.
- Общий список литературы/References**
1. Askerov E, Trepets SA, Yeskina TG, Bibina KV, Narkevich AI, Phitikov AB, Zazanashvili N, Akhmedova K. [An estimate of population densities of leopard *Panthera pardus* prey and competitors in Girkanskiy National Park (Azerbaijan)]. *Zool Zhurn.* 2021;100(8):947-55. (In Russ.)
 2. Aramilev SV, Kuzmenko VB. [An experience of Amur tiger reintroduction using the “gentle” approach]. In: *Materialy II Mezhdunarodnoy Rabochey Vstrechi po Reabilitatsii i Reintroduktsii Krupnykh Khishchnykh Mlekoopitayushchikh.* Moskva, 12–15 Oktyabrya 2021 g. Moscow: KMK; 2021. P. 76. (In Russ.)
 3. Veynberg PI. [Examination of the Republic of Northern Ossetia-Alania for the purpose of assessing its territory for inclusion in the program of leopard reintroduction in Caucasus]. In: *Vosstanovleniye Leoparda na Kavkaze (Materialy Obsledovaniy Istoricheskogo Areala leoparda na Yuge Rossii i Analiz Yego Sovremennogo Sostoyaniya).* TMoscow: KMK; 2018. P. 213-56. (In Russ.)
 4. Gorbunov AV, Lukarevskiy VS. [About encounters with the leopard in Western Turkmenia]. *Biull MOIP Otd Biol.* 1991;96(1):34-7. (In Russ.)
 5. Goodrich JM, Curly LL, Mikell DJ, Smirnov EN, Schleyer BO, Quigley HB, Hornocker MG, Ufyrkina OV. [The social structure of the Amur tiger population in the Sikhote-Alin Biosphere Reserve]. In: Mikell DDzh, Smirnov YeN, Gudrich DzhM, eds. *Tigry Sikhote-Alinskogo Zapovednika: Ekologiya i Sokhraneniye.* Vladivostok: PSP; 2005. P. 224. (In Russ.)
 6. Lukarevskiy VS. Leopard, Polosataya Giena i Volk v Turkmenistane. [Leopard, Striped Hyena and Wolf in Turkmenistan]. *Signal;* 2001. (In Russ.)
 7. Lukarevskiy VS, Askerov EK, Agili A. [The status of the leopard *Panthera pardus* (Mammalia, Carnivora) in Northern Iran]. *Selevinia.* 2020;28:211-23. (In Russ.)
 8. Lukarevskiy VS, Shyushaite RV, Vavilova NG, Fetisova YuP, Yarovenko YuA, Akkiyev MI. *Perspektivy Razvitiya Programmy po Vosstanovleniyu (Reintroduktsii) Peredne-aziatskogo Leoparda na Kavkaze.* [Prospects for the Development of a Program for Restoration (Reintroduction) of the Persian Leopard in Caucasus]. Moscow: Chelovek; 2020. (In Russ.)
 9. Polkovnikova ON. [Amur tiger in the Jewish Autonomous Region. A retrospective analysis]. *Regionalnye Problemy.* 2015;18(1):31-4. (In Russ.)
 10. Pkhitikov AB, Trepets SA, Rozhnov VV, Hernandez-Blanco X-A, Yachmennikova AA, Chistopolova MD, Veynberg PI, Dzutsev ZV, Dronova NA. [Feeding of the Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) after reintroduction in the Western and Central Caucasus]. In: *Materialy II Mezhdunarodnoy Rabochey Vstrechi po Reabilitatsii i Reintroduktsii Krupnykh Khishchnykh Mlekoopitayushchikh.* Moskva, 12-15 Oktyabrya 2021 g. Moscow: KMK; 2021. P. 72. (In Russ.)
 11. Ryser A, Ryser-Degiorgis MP, Breitenmoser-Würsten H, Zimmermann F, Breitenmoser U. Reintroduction of the Eurasian lynx in Eastern Switzerland – assessment 15 years after the first translocations. *Proceedings of the International Workshop on Rehabilitation and Reintroduction of Large Carnivores. 25–27 November 2015, Moscow, Russia.* Moscow: KMK; 2015. P. 37.
 12. Rozhnov VV, Lukarevskiy VS. *Programma Vosstanovleniya Leoparda na Kavkaze.* [Program for Leopard Restoration in the Caucasus]. Moscow: KMK; 2007. (In Russ.)
 13. Rozhnov VV, Sorokin PA, Lukarevskiy VS, Naidenko SV, Hernandez-Blanco HA, Lukarevskiy SV. [Individual identification of Far Eastern leopards (*Panthera pardus orientalis*) by

- molecular genetic methods and its use to estimate the size of the population]. *Izvestiya RAN Ser Biol.* 2013;(2):138-43. (In Russ.)
14. Rozhnov VV, Chistopolova MD, Hernandez-Blanco HA, Naydenko SV, Lukarevsky VS, Sorokin PA, Mikell DG, Rybin NN, Kalinin AYu, Polkovnikova ON. [Space exploration by the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) during reintroduction in the northwest of the range]. In: *Arealy, Migratsii i Drugiye Peremeshcheniya Dikikh Zhivotnykh. Materialy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii (g. Vladivostok, 25–27 noyabrya 2014 g.). Vladivostok; 2014. P. 266-9. (In Russ.)*
 15. Rozhnov VV, Naydenko SV, Hernandez-Blanco HA, Sorokin PA, Blidchenko YeYu, Sonin PL, Yachmennikova AA, Chistopolova MD. [Reintroduction of Amur tigers (*Panthera tigris altaica*) in Russia.] In: *Materialy Mezhdunarodnoy Rabochey Vstrechi po Reabilitatsii i Reintroduktsii Krupnykh Khishchnykh Mlekopitayushchikh 25–27 Noyabrya 2015. Moscow, Russia. Moscow: KMK; 2015. P. 12. (In Russ.)*
 16. Rozhnov VV, Yachmennikova AA, Chistopolova MD, Trepets SA, Pkhitikov AB, Kudaktin AN, Sorokin PA, Naydenko SV, Dronova NA, Hernandez-Blanco HA. [Restoration of the Persian leopard (*Panthera pardus ciscaucasica*) in the Caucasus Reserve: the experience of release and the first results of animal monitoring]. *Trudy Kavkazskogo Gosudarstvennogo Prirodnogo Biosfernogo Zapovednika.* 2018;(23):41-9. (In Russ.)
 17. Rozhnov VV, Naydenko SV, Hernandez-Blanco HA, Chistopolova MD, Sorokin PA, Yachmennikova AA, Blidchenko YeYu, Kalinin AYu, Kastrikin VA. [Restoration of the population of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the northwest of the range]. *Zool Zhurn.* 2021;100(1):79-103. (In Russ.)
 18. Simon López, Arenas-Rojas, Garcia-Tardio, Garrote López-Parra, Fernández-Pena, Moral, del Rei. [Pyrenean lynx reintroduction program]. *Proceedings of the International Workshop on Rehabilitation and Reintroduction of Large Carnivores. 25–27 November 2015, Moscow, Russia. Moscow: KMK 2015. P. 35.*
 19. Semenov UA. ["Leopard Recovery Center in the Caucasus" – a reintroduction strategy]. *Trudy Sochinskogo Natsionalnogo Parka. Vyp. 10. Moscow: KMK; 2016. (In Russ.)*
 20. Semenov UA. [Basic principles and stages of preparation of the leopard (*Panthera pardus tulliana Valenciennes, 1856*) for independent life in the natural environment]. In: *Materialy II Mezhdunarodnoy Rabochey Vstrechi po Reabilitatsii i Reintroduktsii Krupnykh Khishchnykh Mlekopitayushchikh. Moskva, 12–15 Oktyabrya 2021 g. Moscow: KMK; 2021. P. 66. (In Russ.)*
 21. Trepets SA, Eskina TG, Bibina KV. [Features of the dynamics of ungulate populations in the Caucasus Reserve in 2014–2017]. *Trudy Kavkazskogo Gosudarstvennogo Prirodnogo Biosfernogo Zapovednika.* 2018;(23):58-71. (In Russ.)
 22. Trepets SA, Pkhitikov AB, Kudaktin AN, Dronova NA, Rozhnov VV, Hernandez-Blanco HA, Chistopolova MD, Yachmennikova AA, Naydenko SV, Sorokin PA. [Leopard (*Panthera pardus ciscaucasica*) in the Western Caucasus: historical range, experience and prospects for recovery]. *Vestnik Krasnodarskogo Regionalnogo Otdeleniya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva.* 2020;(10)290-301. (In Russ.)
 23. Askerov E, Talibov T, Manvelyan K, Zazanashvili N, Fatullayev P, Malkhasyan A. Leopard (*Panthera pardus*) reoccupying its historic range in the South Caucasus: a first evidence (Mammalia: Felidae). *Zool Middle East.* 2018;65(1):88-90.
 24. Anonymous. Leopard spotted in Georgia. *Cat News.* 2004;(40):10-11.
 25. Baskaya S, Bilgili E. Does the leopard still exist in the Eastern Karadeniz Mountains of Turkey? *Oryx.* 2004;38:228-32.
 26. Beldon RC, McCown JW. Florida Panther Reintroduction Feasibility Study. Final Report, Study no. 7507. Tallahassee, FL: Florida Game and Fresh Water Fish Commission; 1996.
 27. Boer M, Smielowski J, Tyrala P. Reintroduction of the European lynx (*Lynx lynx*) to the Kampinoski National park, Poland – a field experiment with zoo-born individuals. Part II: release phase: procedures and activities of lynxes during the first year after. *Der Zoologische Garten.* 1995;65:333-42.
 28. Breitenmoser U, Breitenmoser-Wursten C, Capt S. Re-introduction and present status of the lynx (*Lynx lynx*) in Switzerland. *Hystrix.* 1998;10:17-30.
 29. Devineau O, Schenk T, Doherty P, White G, Kahn R. Assessing release protocols for Canada lynx reintroduction in Colorado. *J Wildlife Manag.* 2001;75:623-30.
 30. Fischer J, Lindenmayer DB. An assessment of the published results of animal relocations. *Biol Conserv.* 2000;96:1-11.
 31. Groff C, Bragalanti N, Rizzoli R, Zanghellini, Eds. 2012 Bear Report. Autonomous Province of Trento – Forestry and Wildlife Department; 2013.
 32. IUCN/SSC. Guidelines for Reintroductions and other Conservation Translocations. Ver 1.0, Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 2013.
 33. Jule KR, Leaver LA, Lea SEG. The effects of captive experience in reintroduction survival in

- carnivores: a review and analysis. *Biol Conserv.* 2008;141:355-63.
34. Johnson K. Status and distribution of the leopard in Turkey and the Caucasus Mountains. *Endangered Species Update.* 2003;20:107-15.
 35. Kaczensky P, Chapron G, von Arx M, Huber D, Andren H, Linnell J. Status, Management and Distribution of Large Carnivores (Bear, Lynx, Wolf & Wolverine) in Europe. Part II. Prepared for European Commission; 2013.
 36. Karataş A, Bulut S, Akbaba B. Camera trap records confirm the survival of the Leopard (*Panthera pardus* L., 1758) in eastern Turkey (Mammalia: Felidae). *Zool Middle East,* 2021;67(3):198-205. DOI: 10.1080/09397140.2021.1924419.
 37. Kramer-Schadt S, Revilla E, and Wiegand T. Lynx reintroductions in fragmented landscapes of Germany: Projects with a future or misunderstood wild-life conservation? *Biol Conserv.* 2005;125:169-82.
 38. Logan K, Sweanor L, Ruth T, Hornocker M. Cougars of the San Andres Mountains, New Mexico. Final Report to New Mexico Department of Game and Fish. Santa Fe, NM: New Mexico Department of Game and Fish; 1996.
 39. Lukarevsky V, Askerov E, Hazaryan G. Condition of the leopard population in the Caucasus. *Beitr zur Jagd- und Wildforsch.* 2004;29:303-19.
 40. Lukarevsky V, Malkhasyan A, Askerov E. Biology and ecology of the leopard in the Caucasus. *CAT News.* 2007;(Special Issue 2 – Caucasus Leopard): 9-14.
 41. Lukarevsky V, Akkiev M, Askerov E, Agili A, Can E, Gurielidze Z, Kudaktin AN, Malkhasyan A, Yarovenko YA. Status of the Leopard in the Caucasus. *CAT News.* 2007; (Special Issue 2 – Caucasus Leopard):15-21.
 42. Lukarevskiy VS, Vereshchagin AP, Lukarevskiy SV. The spatial structure of a snow leopard population (*Panthera uncia*, Felidae, Carnivora) in east Kyrgyzstan. *Ecol Montenegr.* 2020;33:17-28.
 43. Quenette PY, Alonso M, Chayron L, Cluzel P, Dubarry E, Dubreuil D, Palazon S, Pomarol M. Preliminary results of the first transplantation of brown bears in the French Pyrenees. *Ursus.* 1999;12:115-20.
 44. Spassov N, Askerov E, Acosta-Pankov I, Ignatov A. New data on the occurrence of *Panthera pardus* in the Talysh Mountains, Azerbaijan (Carnivora: Felidae). *Lynx.* (Praha). 2020;50:113-8.
 45. Sunquist ME. The social organization of tigers (*Panthera tigris*) in Chitwan National Park, Nepal. *Smithsonian Contribut Zool.* 1981;336:1-98.
 46. Sunquist ME. Dispersal of the three radiotagged leopards. *J. Mammal.* 1983;64(2):337-41.



ДИНАМИКА ПСАММОФИТНОЙ СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КАРЖИМАНТСКИЕ СКЛОНЫ»

Л.А. Новикова¹, В.М. Васюков^{2*}, Т.В. Горбушина³,
А.В. Иванова², Т.М. Лысенко^{2, 4}

¹ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия; ² Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия; ³ Государственный природный заповедник «Приволжская лесостепь», Пенза, Россия; ⁴ Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: vvasjukov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; принята к печати 10.11.2023

Изучены флора и растительность ценного ботанического объекта – регионального памятника природы «Каржымантские склоны» (Шемьшейский район, Пензенская область). Во флоре было выявлено 278 видов сосудистых растений, из которых два вида охраняются на федеральном уровне (*Iris aphylla*, *Stipa dasyphylla*) и 12 видов – на региональном (*Adonathe vernalis*, *Allium flavescens*, *Allium lineare*, *Amygdalus nana*, *Iris aphylla*, *Linum flavum*, *Potentilla alba*, *Prunella grandiflora*, *Spiraea crenata*, *Stipa borysthenaica*, *Stipa dasyphylla*, *Stipa tirsca*). Выявлены следующие закономерности распространения основных растительных ассоциаций в зависимости от рельефа и почв: а) на крутых склонах южной и юго-восточной экспозиции и легких песчаных почвах развиваются дерновиннозлаковые, многолетне-разнотравные, однолетне-разнотравные и кустарниковые настоящие степи; б) на пологих склонах со смытыми, выщелочными черноземами – дерновиннозлаковые, корневищнозлаковые, многолетне-разнотравные и кустарниковые луговые степи. Установлены основные этапы демутиации степной растительности, которые по-разному протекают на склонах разной крутизны и экспозиций. Так, на крутых склонах южной и юго-восточной экспозиции наблюдаются такие этапы демутиации настоящих степей, как: а) однолетне-разнотравные, б) многолетне-разнотравные, в) дерновиннозлаковые, г) кустарниковые; тогда как на пологих склонах отмечаются другие этапы демутиации, характерные для луговых степей: а) разнотравные; б) корневищнозлаковые; в) дерновиннозлаковые; г) кустарниковые. Основное направление изменений флоры и растительности памятника природы «Каржымантские склоны» в связи со снижением антропогенного воздействия за последние 20 лет заключается, прежде всего, в сивлатизации разной степени, причем в большей степени она проявляется в луговых степях, а в меньшей – в настоящих.

Ключевые слова: Пензенская область, памятник природы, растительность, флора.

DYNAMICS OF PSAMMOPHYTIC STEPPE VEGETATION IN PENZA REGION WITHIN THE TERRITORY OF THE NATURAL MONUMENT “KARZHIMANTSKY SLOPES”

L.A. Novikova¹, V.M. Vasiukov^{2*}, T.V. Gorbushina³, A.V. Ivanova², T.M. Lysenko^{2, 4}

¹ Penza State University, Penza, Russia; ² Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia; ³ State Nature Reserve “Privolzhskaya Lesostep”, Penza, Russia; ⁴ Komarov Botanical Institute, Saint Petersburg, Russia

* E-mail: vvasjukov@yandex.ru

The flora and vegetation of a valuable botanical object, the regional natural monument “Karzhimantsky slopes” (Shemysheysky district, Penza region), were studied. There were identified 278 species of vascular plants, including two species protected at the federal level (*Iris aphylla* and *Stipa dasyphylla*) and twelve species protected at the regional level (*Adonathe vernalis*, *Allium flavescens*, *Allium lineare*, *Amygdalus nana*, *Iris aphylla*, *Linum flavum*, *Potentilla alba*, *Prunella grandiflora*, *Spiraea crenata*, *Stipa borysthenaica*, *Stipa dasyphylla*, and *Stipa tirsca*). The following patterns of distribution of the main plant associations depending on relief and soil have been identified: turf-slag, perennial grass, annual grass and shrub true steppes develop on steep slopes of the southern and southeastern exposure and on light sandy soils, whereas turf-slag, rhizomatous, perennial grass and shrub meadow steppes develop on gentle slopes with washed-out leached chemozems. The main demutation stages of steppe vegetation that have been established proceed differently on slopes differing in their steepness and exposures. Thus, on the south and south-east steep slopes, demutation stages of psammophytic real steppes are observed: a) annuals; b) perennials; c) turf and slag; and d) shrubby; whereas on gentle slopes, demutation stages of meadow steppes are noted: a) grassland; b) rhizomatous; c) bunchgrass; and d) shrubby. The main direction of changed in the flora and vegetation of the natural monument “Karzhimantsky slopes” associated with a reduction of the anthropogenic impact over the past 20 years is, first of all, sylvatization of varying degrees, which is manifested more in meadow steppes than in true steppes.

Keywords: Penza region, natural monument, vegetation, flora.

Введение

«Каржимантские склоны» – ботанический памятник природы регионального значения – организован в 2000 году (Постановление № 676-30/23С Законодательного собрания Пензенской области от 26.12.2000). Располагается в окрестностях села Каржимант в Шемышейском районе Пензенской области и носит экотонный лесостепной характер. Площадь – 38,4 га. Объект представляет собой систему склонов по берегу р. Узы – левого притока р. Суры ($52^{\circ}44'$ с. ш., $45^{\circ}30'$ в. д.)¹. Ведомственная подчиненность памятника природы – Администрация Каржимантского сельсовета.

Описанные в статье процессы демуляции растительности памятника природы «Каржимантские склоны», как оказалось, соответствуют тем, что были изучены и на других ООПТ не только в Пензенской области, но за ее пределами [5, 7–9].

Материалы и методики

Растительность урочища «Каржимантские склоны» впервые была описана в 1999 году, на основании чего был составлен паспорт этой вновь создаваемой охраняемой территории. В 2021 году было проведено повторное описание растительности с целью мониторинга за последние 20 лет.

Для изучения объекта были заложены в типичных условиях 20 пробных площадок размером в 4 м^2 ($2 \text{ м} \times 2 \text{ м}$) (рис. 1), описание которых проводилось по традиционной методике [2].

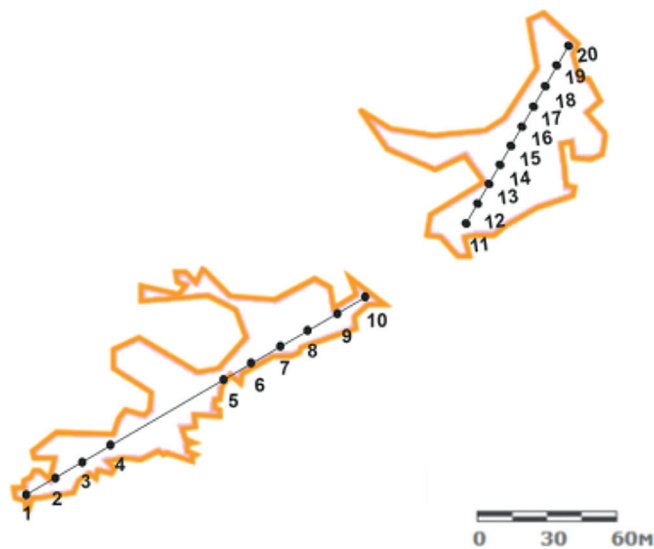


Рис. 1. Схема расположения пробных площадок на территории памятника природы Урочище «Каржимантские склоны»

¹ Центр особо охраняемых и иных природных территорий и акваторий Пензенской области. <http://cooipra.ucoz.net> (дата обращения: 10.08.2023).

На каждой площадке указывалось общее проективное покрытие (ОПП) и проективное покрытие отдельных видов и их различных групп. Была разработана эколого-фитоценологическая классификация растительности (табл. 1, 2).

Латинские названия видов сосудистых растений приводятся согласно International Plant Names Index (<https://www.ipni.org/>) [10].

Результаты и обсуждение

Объект исследования представляет собой систему склонов преимущественно южной экспозиции, разной крутизны и степени облесенности. Склоны принадлежат левому притоку р. Суры – р. Узе (Волжский бассейн) и впадающей в нее слева балке. Наибольшую ценность представляет степной компонент лесостепи, который представлен различными вариантами степей: песчаными, травяными и кустарниковыми по И.И. Спрыгину [6]. По нашей классификации, они соответствуют настоящим и луговым степям.

Кроме этого, на территории памятника природы хорошо представлены сообщества лесостепных кустарников и остепненные дубравы с незначительной примесью сосны (рис. 2).

Для этого участка характерно высокое флористическое богатство – 278 видов сосудистых растений, в том числе редкие для Пензенской области [1], из которых два вида включены в Красную книгу Российской Федерации [4]: *Iris aphylla*, *Stipa dasyphylla* и 12 видов – в Красную книгу Пензенской области [3]: *Adonathe vernalis*, *Allium flavescens* и *Allium lineare*, *Amygdalus nana*, *Iris aphylla*, *Linum flavum*, *Potentilla alba*, *Prunella grandiflora*, *Spiraea crenata*, *Stipa borysthena*, *Stipa dasyphylla*, *Stipa tirsia*. ООПТ создавалась с целью сохранения прежде всего своеобразных песчаных степей, которые характеризуются сильно разреженным растительным покровом и специфичной флорой. В соответствии с разработанной нами классификацией песчаные степи относятся к настоящим и луговым степям, которые развиваются на разных элементах рельефа и разных почвах.

Последние 20 лет растительность ООПТ существовала в условиях абсолютно заповедного режима, что привело к ее восстановлению после интенсивного антропогенного влияния (резерватные сукцессии). Кроме того, в связи с постоянными оползнями растительность также отражает различные стадии демуляции степей.

В 2021 году была описана растительность открытых местообитаний, которая теперь представлена исключительно степями (100%). На крутых склонах преимущественно преобладают настоящие степи (75%), а на более пологих – луговые степи (25%).

Настоящие степи характеризуются преобладанием степных видов (32–63%) и особенно растений насто-

Классификация растительности памятника природы Урочище «Каржимантские склоны» (2021 год)

	Название таксона	Площадь, %
Тип растительности	Ксерофильная многолетняя травянистая растительность (степи)	
Подтип растительности	Ксерофильная многолетняя травянистая растительность (настоящие степи)	
Группа формаций	Настоящие степи дерновиннозлаковые	
Формация I	Дубянскокелериевая с <i>Koeleria dubjanskyi</i>	
1-я ассоциация	Разнотравно-дубянскокелериевая	5
Формация II	Днепроовскоковыльная с <i>Stipa borysthenica</i>	
2-я ассоциация	Разнотравно-дубянскокелериево-днепровскоковыльная	5
3-я ассоциация	Разнотравно-люцерново-днепровскоковыльная	5
Группа формаций	Настоящие степи разнотравные	
Формация III	Шерстистобассиевая с <i>Bassia laniflora</i>	
4-я ассоциация	Дубянскокелериево-шерстистобассиевая	15
Формация IV	Харьковсконаголоватковая с <i>Jurinea charcoviensis</i>	
5-я ассоциация	Дубянскокелериево-харьковсконаголоватковая	5
Формация V	Песчаноцминовая с <i>Helichrysum arenarium</i>	
6-я ассоциация	Дубянскокелериево-песчаноцминовая	10
Формация VI	Мордовниковая с <i>Echinops saksonovii</i>	
7-я ассоциация	Злаково-мордовниковая	20
Формация VII	Метельчатокачимовая с <i>Gypsophila paniculata</i>	
8-я ассоциация	Дубянскокелериево-метельчатокачимовая	5
Формация VIII	Понтийскопопынная с <i>Artemisia pontica</i>	
9-я ассоциация	Дубянскокелериево-понтийскопопынная	5
Подтип растительности	Мезоксерофильная многолетняя травянистая растительность (луговые степи)	
Группа формаций	Луговые степи дерновиннозлаковые	
Формация IX	Опушенноковыльная с <i>Stipa dasyphylla</i>	
10-я ассоциация	Разнотравно-волосистопырейно-днепровскоковыльно-береговокострецово-опушенноковыльная	5
Группа формаций	Луговые степи корневищнозлаковые	
Формация X	Береговокострецовая с <i>Bromopsis riparia</i>	
11-я ассоциация	Люцерново-разнотравно-волосистопырейно-днепровскоковыльно-береговокострецовая	5
Группа формаций	Луговые степи разнотравные	
Формация XI	Маршаллопопынная с <i>Artemisia marschalliana</i>	
12-я ассоциация	Дубянскокелериево-маршаллопопынная	5
Группа формаций	Луговые степи кустарниковые	
Формация VII	С участием <i>Chamaecytisus saksonovii</i>	
13-я ассоциация	Ракитниково-типчачково-разнотравная (мордовниково-метельчатокачимово-румянкоястребинковая)	5
14-я ассоциация	Ракитниково-дубянскокелериево-разнотравная (метельчатокачимово-мордовниково-маршаллопопынная)	5
Итого:		<u>100</u>

**Характеристика основных растительных сообществ на территории памятника природы
Урочище «Каржимантские склоны» в 2022 году**

Ассоциация	1	2	3	4	4	4	5	6	6	7	7	7	7	8	9	10	11	12	13	14
Номер описания	15	11	16	2	13	6	9	5	8	1	4	10	12	14	3	18	17	7	19	20
Число видов	8	6	7	9	7	7	8	8	9	10	13	11	12	7	8	15	22	7	16	15
Проективное покрытие, %																				
Общее	58	61	60	63	34	55	62	40	35	45	57	61	80	55	60	98	98	48	77	75
По фитоценоотическим группам																				
<i>Степные</i>	57	59	45	63	32	55	57	39	34	41	48	58	63	55	57	92,5	74,5	47	57	66
<i>Луговые</i>	1	2	15	0	2	0	5	1	1	4	9	3	17	0	3	5,5	23,5	1	20	9
По экологическим группам																				
<i>Ксерофиты</i>	55	53	43	58	30	48	57	31	33	36	47	38	58	44	31	34	23	16	27	28
<i>Мезоксерофиты</i>	2	6	2	5	2	7	0	8	1	5	1	20	5	11	26	58,5	51,5	31	30	38
<i>Ксеромезофиты</i>	1	2	15	0	0	0	4	1	0	4	6	3	15	0	0	5,5	20	1	18	7
<i>Мезофиты</i>	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	3	0	2	0	3	0	3,5	0	2	2
По хозяйственно-биологическим группам																				
<i>Деревья и кустарники</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	20	15
<i>Злаки и осоки</i>	30	50	42	20	5	1	10	10	10	5	17	12	5	20	5	75	55,5	10	7	12
<i>Бобовые</i>	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	0	0	5	17,5	0	0	0
<i>Разнотравье</i>	28	11	3	43	29	53	52	30	25	40	36	44	69	35	55	18	25	38	48	46



Рис 2. Ботанический памятник природы регионального значения Урочище «Каржимантские склоны»

ящих лугов – ксерофитов (30–58%). ОПП колеблется от 34 до 63%, а число видов – от 6 до 13.

Луговые степи также характеризуются преобладанием степных видов (47–95,5%), но преимущественно за счет растений луговых степей – мезоксерофитов (30–58%). ОПП колеблется от 48 до 98%, а число видов – 7–16.

Значительную площадь наиболее ровных пространств занимают остепненные луга вейника и осоки (*Calamagrostis epigejos* + *Carex praecox* + *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*) с участием кустарников, но мы их не описывали.

Растительность на всей территории памятника природы распределяется крайне неравномерно, и в ней можно выделить по крайней мере три участка. Они значительно отличаются по условиям рельефа (абсолютной высоте над уровнем моря) и почв (смытые выщелочные черноземы и выходы песка): 1) возвышенный участок с обнаженной песчаной почвой (ближе к селу); 2) выровненный участок со смытыми выщелочными черноземными почвами (основная территория); 3) самый возвышенный участок памятника природы – останец с выходами на поверхность песка (дальше от села).

Динамика растительности всех этих участков протекает по-разному, поэтому целесообразно проследить трансформацию растительности более чем за 20 лет (с 1999 до 2021 год) на каждом из них.

Возвышенный участок с обнаженной песчаной почвой

В самом начале этого участка находился небольшой фрагмент, который раньше испытывал сильное антропогенное влияние, что способствовало распространению здесь разнотравной настоящей степи с доминированием *Artemisia marschalliana*. В настоящее время на этом первом фрагменте (описания № 1–4) в отсутствие антропогенного влияния довольно хорошо восстановились песчаные степи. В этом месте получили распространение разнотравные настоящие степи, представленные ассоциациями *Echinops saksonovii* + *Koeleria dubjanskyi* и *Echinops saksonovii* + *Festuca valesiaca*, а также разнотравная луговая степь – ассоциация *Artemisia pontica* + *Koeleria dubjanskyi*. Здесь также отмечены и начальные этапы формирования песчаных степей под влиянием эрозионных процессов – *Bassia laniflora* + *Koeleria dubjanskyi* ассоциация.

Далее следовал второй фрагмент этого участка с хорошо сохранившейся песчаной степью, на котором наблюдался следующий порядок распространения основных растительных ассоциаций в зависимости от орографического фактора на песчаных почвах.

В 1999 году верхняя часть склонов южной и восточной экспозиций была занята ассоциациями *Stipa capillata* + *Festuca valesiaca* и *Festuca valesiaca* + *Helichrysum arenarium*, средняя часть склона раньше

была покрыта ассоциацией *Helichrysum arenarium* + *Calamagrostis epigejos*, а нижняя часть склона – ассоциацией *Echinops saksonovii* + *Elytrigia repens*. Растительный покров довольно разреженный со значительным участием псаммофитов (*Artemisia marschalliana*, *Allium flavescens*, *Linaria genistifolia* и др).

На втором фрагменте первого участка в настоящее время песчаные степи не только сохранились, но и стали более разнообразными (описания № 5–10).

В 2021 году в верхней части склонов южной и восточной экспозиций теперь преобладают по площади разнотравные настоящие степи: ассоциации *Helichrysum arenarium* + *Koeleria dubjanskyi* и *Jurinea charcoviensis* + *Koeleria dubjanskyi*. На средних и нижних частях склонов господствовали сообщества разнотравных настоящих степей, ассоциация *Artemisia marschalliana* + *Koeleria dubjanskyi*.

На обоих фрагментах описанного первого участка наблюдались интенсивные эрозионные процессы склонового характера, которые приводили к постоянным демутиационным процессам на склонах. Это привело к началу формирования песчаных степей памятника природы – ассоциации *Bassia laniflora* + *Koeleria dubjanskyi*. Важно отметить, что эта ассоциация встречается и на других изученных участках.

Кроме этого, в условиях абсолютной заповедности наблюдается слабое закустаривание песчаных степей, что сопровождается формированием кустарниковых настоящих степей: ассоциация *Chamaecytisus ssyreiszczikovii* – *Elytrigia trichophora* + *Echinops saksonovii*.

Выровненный участок со смытыми выщелочными черноземными почвами

Прежде, в 1999 году, на наиболее выровненных элементах рельефа были отмечены разнотравные луговые степи: ассоциации *Stipa capillata* + *Herbae stepposae* и *Stipa borysthena* + *Herbae stepposae*, а также *Bromopsis riparia* + *Herbae stepposae*. В разнотравье заметно выделяются *Filipendula vulgaris*, *Fragaria viridis*, *Salvia stepposa*, *Galium ruthenicum* и др. Отмечаются также *Potentilla argentea*, *Centaurea apiculata*, *Falcaria vulgaris*, *Campanula bononiensis* и др. В составе этих ассоциаций были обнаружены и редкие виды: *Allium flavescens*, *Prunella grandiflora*.

В 2021 году здесь (описания № 11–20) были описаны дерновиннозлаковые луговые степи – ассоциация *Stipa dasyphylla* + *Bromopsis riparia* + *Herbae stepposae* и корневищнозлаковые луговые степи – ассоциация *Bromopsis riparia* + *Elytrigia trichophora* + *Herbae stepposae*.

В настоящее время значительную площадь сейчас занимают остепненные луга из вейника наземного и осоки ранней с участием кустарников – ассоциация

Calamagrostis epigejos + *Carex praecox* – *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*, которые нами подробно не описывались.

По обнажениям в 1999 году часто встречались начальные этапы формирования песчаных степей (ассоциации *Potentilla incana* и *Artemisia marschalliana*). В 2021 году в этих местообитаниях уже исчезла ассоциация *Potentilla incana*, сохранилась еще ассоциация *Artemisia marschalliana*, а, наоборот, получили распространение другие ассоциации настоящих степей. К ним относятся ассоциации *Koeleria dubjanskyi* + *Herbae stepposae* и *Echinops saksonovii* + *Bromopsis riparia*, а также *Gypsophila paniculata* + *Koeleria dubjanskyi*.

Кустарниковые луговые степи формируются при участии чаще всего *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*, *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa* и *Spiraea crenata*. При этом травостой, сохраняя степной характер, включает некоторых представителей разнотравья: *Oreoselinum nigrum*, *Asparagus polyphyllus*, *Adonanthe vernalis* и др. В кустарниковых степях часто доминируют степные злаки *Stipa capillata* и *Stipa dasyphylla*.

Лесостепные кустарники *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*, *Amygdalus nana*, *Spiraea crenata*, *Cerasus fruticosa*, *Rosa cinnamomea* и *Prunus stepposa* обычно находятся на границе с лесом и образуют своеобразные опушки – переход к кустарниковым и далее открытым травяным степям.

До организации памятника природы в 2000 году этот участок использовался под выпас и сенокосение, и поэтому растительность этого участка теперь в значительной степени подвергается силватизации – распространению кустарников. В 2021 году нами описаны для примера две ассоциации луговых степей с участием кустарников: *Koeleria dubjanskyi* – *Chamaecytisus ssyreiszczikovii* и *Festuca valesiaca* – *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*.

Наиболее возвышенный участок – останец

В 1999 году на наиболее выровненных местах развивается ассоциация дерновиннозлаковых луговых степей *Stipa borysthena*, *Herbae stepposae*. В условиях сенокосного режима здесь формировалась преимущественно ассоциация луговых степей *Bromopsis riparia* + *Herbae stepposae*.

Раньше степной характер поддерживался сенокосениями, но в последнее время этот участок не косился и подвергся сильному закустариванию. Здесь преобладала ассоциация *Stipa borysthena* + *Herbae stepposae* – *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*, которая покрывала пространство между основной балкой и ее отвершком. На вершине этого останца раньше была представлена ассоциация *Stipa capillata* – *Chamaecytisus ssyreiszczikovii* + *Cerasus fruticosa*.

В 2021 году растительность останца довольно хорошо сохранилась благодаря тому, что постоянный эрозионный процесс способствовал сохранению песчаных степей, однако наблюдалась некоторая его закустаренность. Особое распространение получили кустарники, особенно раkitник *Chamaecytisus ssyreiszczikovii*.

Степные сообщества непосредственно или через кустарниковую опушку контактируют с остепненными дубравами *Quercus robur*, часто с участием *Pinus sylvestris*, особенно на песчаных субстратах. Леса сильно разрежены и имеют невысокую сомкнутость крон – 0,5–0,6. Подлесок часто образован степными видами кустарников (*Prunus stepposa*) и может иметь значительное развитие. Травяной покров сильно разрежен, и порой наряду с типичными неморальными видами встречаются и степные. На полянах и опушках таких лесов были найдены *Allium flavescens*, *Potentilla alba*, *Prunella grandiflora* и др.

До организации ООПТ значительные эрозионные процессы наблюдались преимущественно в местах наиболее интенсивного антропогенного влияния: по дорогам через лес и проходам для скота, а также на крутых склонах. В результате этого происходит нарушение растительного покрова, что приводит к смыву почв и дальнейшим процессам деградации растительного покрова. Более или менее ровные степные участки раньше постоянно выкашивались. В подножьях описанных склонов прежде происходил интенсивный выпас скота.

Во время организации памятника природы нами предлагалось не изменять режим антропогенного использования растительного покрова по двум причинам:

- а) крутые и покатые склоны, как правило, остаются недоступными для выпаса скота;
- б) сенокосение на пологих склонах только способствует поддержанию их степного характера, так как препятствует распространению на них степных кустарников и деревьев.

С целью эффективного сохранения степной растительности этого памятника природы мы при его организации рекомендовали следующие мероприятия по их охране.

1. Запретить выпас и прогоны скота на крутых и покатых склонах, приводящие к развитию эрозионных процессов.
2. Продолжать сенокосение растительного покрова на покатых и пологих склонах с целью сохранения травяных луговых степей путем приостановки распространения степных кустарников.
3. Запретить вырубку лесов и распашку территорий изученного памятника природы.

В последние 20 лет антропогенное воздействие на растительность данного ООПТ было сильно ограничено из-за сокращения хозяйственной деятельности в

ближайшем селе по экономическим причинам.

В условиях практически абсолютной заповедности наблюдается восстановление степной растительности, причем на крутых склонах восстанавливаются настоящие степи, а на более пологих склонах – луговые степи. Важно отметить, что везде наблюдается сylvатизация растительности, но с разной скоростью. Особенно интенсивно наблюдается процесс распространения кустарников на более пологих склонах.

На крутых склонах южной и юго-восточной экспозиции и легких песчаных почвах постоянно наблюдается склоновая эрозия, которая нарушает целостность растительного покрова, что приводит в дальнейшем к ее восстановлению.

Этапы демутиации настоящих степей (на крутых склонах на выходах песка) такие:

1. Настоящие степи однолетне-разнотравные (*Bassia laniflora*). Этот этап очень слабо представлен на территории ООПТ, так как он быстро вытесняется другими.

2. Настоящие степи многолетне-разнотравные (*Artemisia pontica*, *Gypsophila paniculata*, *Echinops saksonovii*, *Helichrysum arenarium*, *Jurinea charcoviensis*). Этот этап хорошо представлен на ООПТ, особенно часто с доминированием *Artemisia pontica*, *Echinops saksonovii* и *Helichrysum arenarium*, а реже – с *Gypsophila paniculata*, *Jurinea charcoviensis*.

3. Настоящие степи дерновиннозлаковые (*Koeleria dubjanskyi*, *Stipa borysthenica*). Этот этап меньше представлен по сравнению с предыдущим, но все-таки выражен.

4. Настоящие степи кустарниковые (*Chamaecytisus ssyreiszczikovii*). Этот этап только начал появляться в условиях заповедного режима.

В целом можно сказать, что на крутых склонах растительность находится преимущественно на втором этапе – многолетне-разнотравных настоящих степей.

На пологих склонах со смытыми выщелочными черноземными почвами под интенсивным антропогенным влиянием также происходит деградация растительности (при выпасе) или полное уничтожение (при распашке). Далее неизбежно идет ее восстановление.

Этапы демутиации луговых степей (на пологих склонах со смытыми черноземами) такие:

1. Луговые степи разнотравные (*Artemisia marschalliana*).

2. Луговые степи корневищнозлаковые (*Bromopsis riparia*).

3. Луговые степи дерновиннозлаковые (*Stipa dasyphylla*).

4. Луговые степи кустарниковые (*Chamaecytisus ssyreiszczikovii*).

На пологих склонах преобладает третий этап дерновиннозлаковых луговых степей. За ними по площади следуют этап корневищнозлаковых луговых степей, восстанавливающийся после антропогенного воздей-

ствия. Следует отметить, что до сих пор сохраняется первый разнотравный этап, особенно на пологих склонах, где все-таки наблюдается незначительная эрозия почв. Важно отметить, что в условиях отсутствия антропогенного воздействия постепенно появляются кустарники и даже деревья (не попали на наши пробные площади).

Следует отметить, что последние этапы восстановления как настоящих, так и луговых степей наблюдаются только в условиях абсолютной заповедности.

Аналогичные процессы мы наблюдали и на других участках в Пензенской области [7, 8].

Выводы

1. Флора памятника природы «Каржимантские склоны» включает 278 видов сосудистых растений, из которых два вида охраняются на федеральном уровне и 12 видов – на региональном.

2. На территории памятника природы «Каржимантские склоны» наблюдаются следующие закономерности распределения растительного покрова в зависимости от эдафического и орографического факторов: а) на крутых склонах южной и юго-восточной экспозиции и легких песчаных почвах развиваются дерновиннозлаковые, многолетне-разнотравные и однолетне-разнотравные и кустарниковые настоящие степи; б) на пологих склонах со смытыми, выщелочными черноземами – дерновиннозлаковые, корневищнозлаковые, разнотравные и кустарниковые луговые степи.

3. На крутых склонах южной и юго-восточной выделены основные этапы демутиации псаммофитных настоящих степей: а) однолетне-разнотравные (*Bassia laniflora*); б) многолетне-разнотравные (*Artemisia pontica*, *Gypsophila paniculata*, *Echinops saksonovii*, *Helichrysum arenarium*, *Jurinea charcoviensis*); в) дерновиннозлаковые (*Koeleria dubjanskyi*, *Stipa borysthenica*); г) кустарниковые (*Chamaecytisus ssyreiszczikovii*).

4. На пологих склонах установлены основные этапы демутиации луговых степей: а) разнотравные (*Artemisia marschalliana*); б) корневищнозлаковые (*Bromopsis riparia*); в) дерновиннозлаковые (*Stipa dasyphylla*); г) кустарниковые (*Chamaecytisus ssyreiszczikovii*).

5. За последние 20 лет в связи с тем, что антропогенное воздействие на растительный покров памятника природы «Каржимантские склоны» заметно ограничено, демутиация настоящих и луговых степей сопровождается сylvатизацией разной степени, более значительной в луговых степях и меньшей – в настоящих.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН: «Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна» (1021060107217-0-1.6.19).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Васюков ВМ, Саксонов СВ. Конспект флоры Пензенской области. Флора Волжского бассейна. Т. IV. Тольятти: Анна; 2020.
2. Ипатов ВС, Мирин ДМ. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2000.
3. Красная книга Пензенской области. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. Пенза: Пензенская правда; 2013.
4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК; 2008.
5. Новикова ЛА. Демутация луговых степей Приволжской возвышенности в заповедных условиях. Самарский научный вестник. 2020. 9(3):100-6. DOI: 10.17816/snv202093117.
6. Спрыгин ИИ. Из области Пензенской лесостепи. III. Степи песчаные, каменисто-песчаные, засоленные, на южных и меловых склонах. Пенза: Полиграфист; 1998.
7. Новикова ЛА, Артемова СН, Макуев ВК, Яковлев ЕЮ. Геоботаническая характеристика псаммофитных степей Пензенской области в бассейне реки Ардым. Вестник ОГПУ. 2021;1(37):35-47. URL: http://vestospu.ru/archive/2021/articles/3_37_2021.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2021.37.3.
8. Новикова ЛА, Панькина ДВ, Миронова АА. Сукцессионная динамика среднерусских луговых степей и проблема их сохранения. Известия РАН. Сер. Биологическая. 2017;5:506-10.
9. Панькина ДВ, Новикова ЛА, Вяль ЮА, Миронова АА. Опыт восстановления луговых степей на залежах «Кунчеровской лесостепи». Нива Поволжья. 2015;3(36):78-82.
10. IPNI. International Plant Names Index. Kew: The Royal Botanic Gardens, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens Publ.; 2023. <http://www.ipni.org> (accessed: 10.08.2023).
2. Ipatov VS, Mirin DM. Opisaniye Fitotsenoza. Metodicheskiye Rekomendatsii. Saint Petersburg: Izdatelstvo SPbGU; 2000. (In Russ.)
3. Anonymous. Kasnaya Kniga Penzenskoy Oblasti. Tom 1. Griby, Lishayniki, Mkhi, Sosudistyye Rasteniya. [Red Book of Penza Region. Vol. 1. Fungi, Lichens, Mosses, and Vascular Plants]. Penza: Penzenskaya Pravda; 2013. (In Russ.)
4. Anonymous. Krasnaya Kiniga Rossiyskoy Federatsii. (Rasteniya i Griby). [Red Book of the Russian Federation (Plants and Fungi)]. Moscow: KMK; 2008. (In Russ.)
5. Novikova LA. [Demutation of meadow steppes of the Volga upland in protected conditions]. Samarskiy Nauchnyi Vestnik. 2020;9(3, 32):100-6. DOI: 10.17816/snv202093117. (In Russ.)
6. Sprygin II. Iz Oblasti Penzenskoy Lesistepi. III. Stepi Peschanye, Kamenisto-Peschanye, Zasolennye na Yuzhnykh i Melovykh Sklonakh. [From Penza Forest-Steppe Region. III. Sandy, Stony-Sandy and Saline Steppes on Southern and Cretaceous Slopes]. Penza: Polygraphist; 1998. (In Russ.)
7. Novikova LA, Artemova SN, Makeev VK, Yakovlev EYu. [Geobotanical characteristics of psammophytic steppes of the Penza region in the Ardym river basin]. Vestnik OGPU. 2021;1(37):35-47. DOI: 10.32516/2303-9922.2021.37.3. (In Russ.)
8. Novikova LA, Pankina DV, Mironova AA. The dynamics of the central Russian meadow steppes and the problem of their preservation. *Biology Bulletin*. 2017;44(5):506-10. DOI: 10.7868/S000233291705006X. (In Russ.)
9. Pankina DV, Novikova LA, Vyal YuA, Mironova AA. [An experience of restoring meadow steppes on the deposits of “Kuncherovskaya Forest-Steppe”]. Niva Povolzhya. 2015;3(36):78-82. (In Russ.)
10. IPNI. International Plant Names Index. Kew: The Royal Botanic Gardens, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens Publ.; 2023. <http://www.ipni.org> (accessed: 10.08.2023).

Общий список литературы / References

1. Vasiukov VM, Saksonov SV. Konspekt Flory Penzenskoy Oblasti. Flora Volzhskogo Basseyna, T. IV Togliatti: Anna; 2020. (In Russ.)

ФЛОРИСТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА Г. ТЮМЕНИ

В.А. Глазунов^{1*}, А.С. Третьякова², Е.А. Чижов³

¹Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия; ²Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия;

³Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

* Эл. почта: v_gl@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; принята к печати 19.10.2023

Представлены результаты флористического обследования различных элементов экологического каркаса г. Тюмени на примере Калининского административного округа. В экологическом каркасе города выделено 6 функциональных зон: природно-рекреационная (ядра каркаса), многоэтажной застройки, малоэтажной застройки, производственная, транспортная и специального назначения (скверы). Во всех зонах выявлено 324 вида сосудистых растений (около 1/3 флоры города). Установлено, что растительные сообщества природных и антропогенных биотопов характеризуются высоким видовым разнообразием с сопоставимым уровнем видового богатства. Значительно различаются видовые составы: в природных сообществах выше доля аборигенных видов (83%), в антропогенных сообществах увеличивается доля чужеродных видов (более 40%). В состав природных сообществ входит большое число специфичных аборигенных видов: луговых, лугово-степных, лесных, включая редкие и охраняемые. Сообщества антропогенных местообитаний менее дифференцированы по видовому составу, чем естественные, что подтверждается высоким значением коэффициента видового сходства, здесь преобладают широко распространенные виды-апофиты, и специфичность обеспечивается, преимущественно, чужеродными видами.

Ключевые слова: Западная Сибирь, озеленение, растительные сообщества, урбанофлора, чужеродные виды.

FLORISTIC DIVERSITY OF THE PRESENT-TIME ECOLOGICAL CARCASS OF THE CITY OF TYUMEN

V.A. Glazunov^{1*}, A.S. Tretyakova², Ye.A. Chizhov³

¹Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia; ²Botanical Garden of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia; ³B.N. Yeltsin Urals Federal

University, Yekaterinburg, Russia

Email: v_gl@inbox.ru

Different elements of the ecological carcass of Tyumen in its Kalinin District were subjected to floristic assessment. Six functional zones are distinguishable in the carcass: natural-recreational (the core zone), multistorey housing, low-rise housing, industrial, transportation, and specialized (public squares). In all of the zones, 324 species of vascular plants were identified (about 1/3 of the total floral composition of the city). Plant communities of natural and anthropogenic biotopes were found to feature high and quantitatively comparable diversities of species. Qualitatively, the compositions of the communities are different: in the natural zones, the aboriginal species predominate (83%), whereas in the anthropogenic zones the share of the alien species is increased (more than 40%). The natural communities comprise many specific aboriginal species, including those typical for meadows and meadow-steppes, there being rare and protected species among them. Plant communities in anthropogenic habitats are less differentiated in terms of species composition, which is natural and is confirmed by high values of the Jaccard index. Apophyte species are the most prevalent in such communities, whereas their specific features are provided by alien species.

Keywords: Western Siberia, landscape gardening, plant communities, urban flora, alien species.

Введение

Исследование биоразнообразия в городах – одно из активно развивающихся в настоящее время научных направлений. Одним из его аспектов является изучение роли городской флоры и растительности. Здесь важное место занимают работы по формированию экологического каркаса городов. Концепция эколо-

гического каркаса подразумевает объединение всех растительных сообществ на городской территории в единую сеть, способную выдерживать высокие антропогенные нагрузки и при этом сохранять основные экологические функции, в частности по регулированию климата, качества воздуха, водного баланса, почв, по их защите от неблагоприятных воздействий,

по поддержанию биоразнообразия, по созданию комфортной среды существования человека [7, 15].

Чаще этот вопрос разрабатывается географами или архитекторами. В связи с чем в большинстве работ внимание акцентируется на наличии соединенных между собой объектов городской зеленой инфраструктуры [3, 5, 6, 9, 11, 15, 16]. В этом ключе выполнены несколько работ, оценивающих экологический каркас Тюмени [8, 10, 12].

Главным элементом каркаса являются ядра, или ключевые территории. Это чаще всего типичные, ценные или уникальные природные ландшафты с естественными и полустественными экосистемами. Они выполняют средообразующие функции, непосредственно обеспечивают поддержание биоразнообразия, обладают способностью к самовосстановлению, саморегуляции и самоочищению. На территории Тюмени к экологическим ядрам можно отнести: особо охраняемые природные территории, такие как лесопарк «Затюменский» и лесопарк им. Ю.А. Гагарина, а также зеленые насаждения всех видов и категорий общего и ограниченного пользования, защитные леса (городские леса, зеленые зоны, лесопарки, леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов), особо защитные участки лесов (опушки лесов, постоянные лесосеменные участки и тому подобное), водные объекты (озера Липовое, Нижнее Кривое, пруды «Лесной» и «Утиный») и другие природные объекты [10].

Наиболее сложная часть каркаса, с точки зрения его формирования, это селитебная зона. Здесь сосредоточена культурно-бытовая инфраструктура, сходятся транспортные магистрали, повышается плотность застройки. В направлении центра города сокращаются площади озелененных пространств, происходит снижение биологического разнообразия. Одна из причин – уплотнение почв и высокая (более 50%) доля непроницаемых поверхностей (асфальт, здания и сооружения), что ведет к сокращению участков, доступных для обитания растений и животных.

В пределах селитебной зоны роль поддержания экологического баланса выполняют небольшие по площади парки, скверы, озелененные территории рекреационных и лечебно-оздоровительных учреждений, школ, детских садов, участки малоэтажной (коттеджной) застройки с высоким процентом озеленения и т. п. [10]. При правильной организации они сдерживают негативное воздействие антропогенных факторов на ключевые элементы каркаса и способствуют проницаемости городской среды для представителей природной флоры и фауны [1].

Экологический каркас должен обладать природной целостностью и территориальной непрерывностью. Для решения проблемы фрагментации городского ландшафта, разрывов между ядрами каркаса

необходимо предусмотреть наличие экологических коридоров, которые позволят повысить устойчивость биоценозов, обеспечат сохранение и повышение биоразнообразия в городе. Экологические коридоры – это связующие элементы каркаса. Они формируют устойчивые связи между ключевыми территориями (ядрами каркаса) и обеспечивают расселение и миграцию видов между ними. Экологические коридоры могут состоять из длинных непрерывных растительных поясов. Например, долина реки Туры пронизывает урбанизированную среду, обеспечивает единство системы зеленых насаждений и выполняет важную связующую функцию водно-зеленого диаметра.

В то же время экологические коридоры не обязательно должны быть непрерывными, физически связанными. Они могут представлять собой сложную мозаику небольших отделенных друг от друга местообитаний, где организмы могут найти убежище, пищу, место отдыха, например цепочки озер. Главное условие – объединение всех озелененных пространств в единую сеть. Связующими звеньями каркаса на городской территории могут выступать и антропогенные системы, например полосы лесов и лугов, расположенные вдоль железнодорожных путей, зеленые насаждения, в виде бульваров и аллей, вертикального озеленения и т. п.

Среди административных округов г. Тюмени самым высоким уровнем озеленения отличается Калининский [10]: здесь доля озелененных территорий достигает 36,3%. Это обусловлено тем, что на территории данного округа располагаются памятник природы «Лесопарк Затюменский» (0,77 км²) и значительные по площади участки городских лесов (7,3 км²).

На наш взгляд, важно оценить не только наличие растительных группировок в городе, но и их качество – уровень видового разнообразия, его структуру. Это позволит охарактеризовать биоразнообразие в городе. Общеизвестно, что более многовидовые растительные сообщества, сформированные уникальными аборигенными видами, лучше выполняют свои экологические функции и повышают ценность биоразнообразия. Этим объясняется повышенный интерес к использованию аборигенных растений и воссозданию природных сообществ на городских территориях [18–20]. В настоящей работе нами рассмотрены особенности видового состава растительных группировок различных элементов экологического каркаса Тюмени и дана оценка их роли в сохранении биоразнообразия в городе.

Материалы и методы

Тюмень (57°10' с. ш. и 65°32' в. д.) – административный центр Тюменской области, один из наиболее динамично развивающихся российских городов. Общая площадь городского округа города Тюмени составляет 698,5 км², при этом зоны жилой, обществен-

но-деловой застройки занимают лишь 80,17 км² (или 11,55% территории города), промышленной застройки 52,24 км² (или 7,48%), остальная часть занята объектами водно-зеленой инфраструктуры и возделываемыми землями [8]. Численность городского населения на начало 2023 года составляла свыше 855,6 тыс. человек.

Тюмень располагается в умеренном широтном поясе, в юго-западной части Западно-Сибирской равнины, у восточной границы Туринской низменности, высота над ур. м. 50–120 м. Климат континентальный, средняя годовая температура воздуха – +0,3 °С, средняя температура января – –17,8 °С, июля – +17,2 °С. Средняя продолжительность вегетационного периода – 120–125 дней. Годовая сумма осадков – 457 мм [4].

Город расположен в равнинном ландшафте, который включает в себя чередование холмистых и ровных участков. Гидрографическая сеть города представлена р. Турой и ее притоками – Бабарынккой, Ключами, Тюменкой. Относительно широко в черте города распространены озера, большинство из которых являются старицами р. Туры. Пойма р. Туры протягивается через центральную часть города, достигает ширины от 3 до 4 км, в ней выражены горизонтальные террасы высотой до 20–30 м и более над урезом воды [14]. Для г. Тюмени характерна близость грунтовых вод к поверхности почвы.

В почвенном покрове наиболее распространены дерново-подзолистые, серые лесные, торфяно-болотные, лугово-болотные, выщелоченные черноземные, а также слабооподзоленные песчаные почвы. На пустырях, под постройками и различными объектами городской инфраструктуры почвы в различной степени антропогенно трансформированы [4, 17].

По ботанико-географическому районированию Тюмень расположена в подзоне мелколиственных лесов, или подтайге. Подзона характеризуется преобладанием травяных березовых и осиново-березовых лесов. Широко распространены участки суходольных злаково-разнотравных лугов, иногда заболоченных. Площадь болот, в основном низинных, незначительна. С юга город окружают массивы сосновых лесов различного типа – травяные, кустарничковые, лишайниковые, как правило, антропогенно трансформированные [2].

В качестве объекта исследования был выбран Калининский округ г. Тюмени. Это один из наиболее крупных административных округов Тюмени площадью 204,2 км². Располагается в западной части города, на его территории проживает 177,8 тыс. человек¹. В границах округа расположено около 50 объектов для массового отдыха горожан: парков, скверов, бульваров, памятник природы «Лесопарк Затюменский»,

что обеспечивает округу наиболее высокий уровень озеленения [10]. Далее с использованием карты градостроительного зонирования Тюмени в Калининском округе было выделено 6 функциональных зон. Первая зона – природно-рекреационная. Ее ландшафты можно рассматривать как ядра экологического каркаса и природно-экологическую часть Тюмени [8].

Зеленая инфраструктура селитебной территории, или градоэкологическая часть каркаса, обеспечивает сохранение биоразнообразия в центральных районах города. В градоэкологическую часть входят рекреационные озелененные территории (парки, скверы, бульвары, набережная и т. д.), озелененные территории, выполняющие санитарно-гигиенические функции (санитарно-защитные зоны, территории больниц, школ, детских садов), искусственные и естественные водоемы и водотоки [8]. Здесь выделены зоны многоэтажной застройки, малоэтажной застройки, производственная, транспортная и специального назначения.

Для территории Калининского округа была составлена карта маршрутов, протяженностью не менее 20 км, охватывающих биотопы всех выделенных функциональных зон в пределах Тюменской кольцевой автомобильной дороги (ТКАД). В природно-рекреационной зоне изучены лугово-лесные местообитания в лесопарке «Затюменский», прибрежные сообщества около Цимлянского пруда, луговые и прибрежные сообщества рек Тура и Бабарынка; в зоне многоэтажной и малоэтажной застройки – дворовые и придомовые территории, пустыри; в производственной зоне – газоны подъездных путей у ТКАД, завода Сибнефтегазмаш, около ремонтной базы и территории бывшего хлебокомбината. В транспортной зоне обследованы газоны вдоль железнодорожных путей и автомобильных дорог, пересекающих округ. В зоне специального назначения изучено видовое разнообразие 8 скверов: Школьный, Святителя Филофея, Тихий, Юности, Комсомольский, перед заводом Сибнефтегазмаш, на территории больницы РЖД и у Южного пруда, а также зеленая аллея по ул. Петербургская. На маршруте выполнялись флористические описания биотопов. В каждой функциональной зоне было изучено не менее 10 биотопов и выполнено по 10 флористических описаний (рис. 1). Местоположение участков фиксировалось с помощью GPS-навигатора.

Латинские названия цветковых растений приведены в соответствии с Plants of the World Online², папоротниковидных – в соответствии с Pteridophyte Phylogeny Group [21]. Флористический анализ включал оценку видового богатства и видовой специфичности, доли чужеродных и аборигенных видов, а также оценку сходства видового состава по коэффициенту Жаккара.

¹ Калининский административный округ [Электронный ресурс]. URL: https://www.tyumen-city.ru/vlast/administration/struktura-administracii-goroda-tumeni/territorialnyie/uprava_kao/

² POWO (2023). Plants of the World Online [Электронный ресурс]. URL: <https://powo.science.kew.org/>

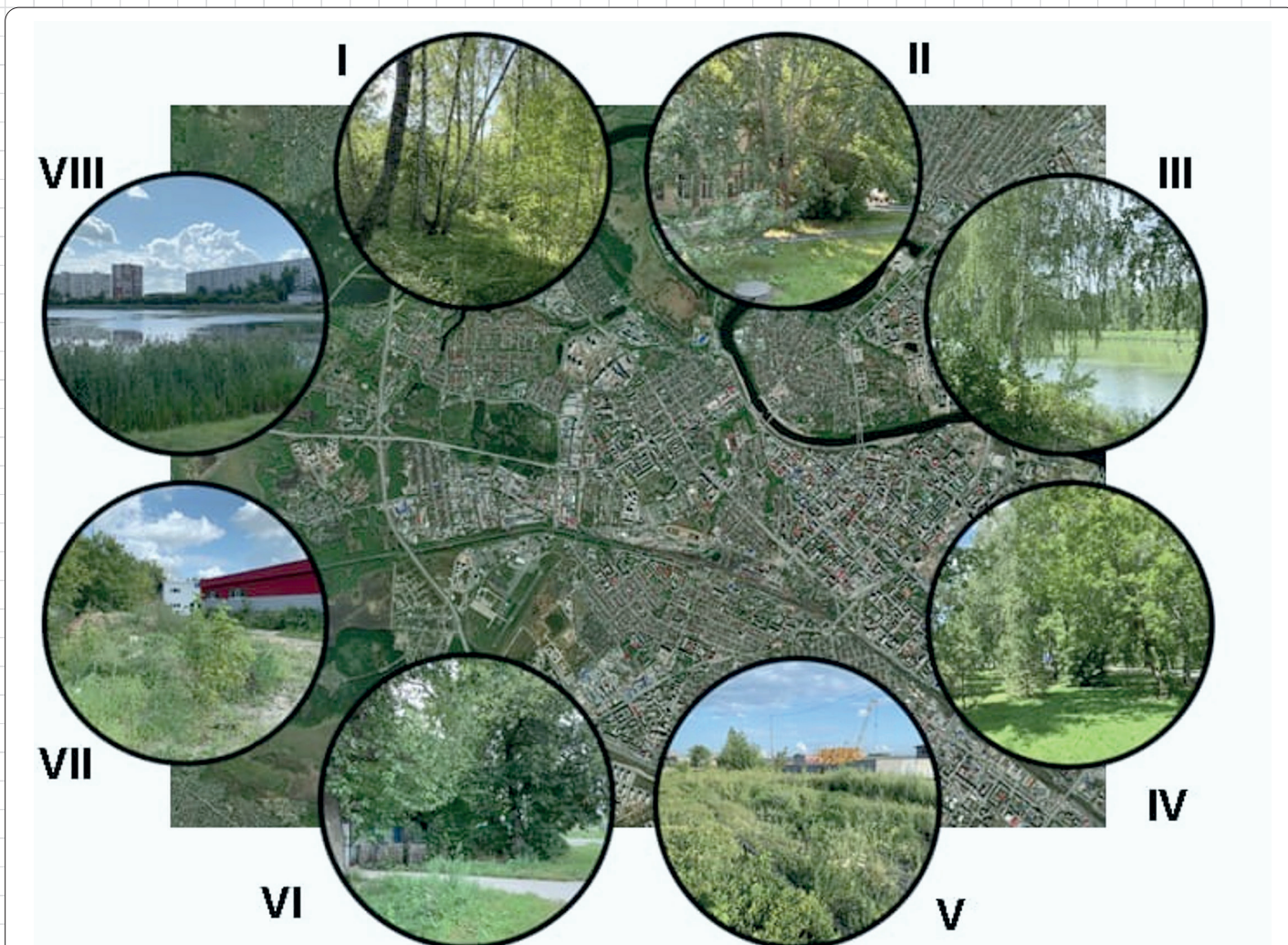


Рис. 1. Разнообразии биотопов в городе Тюмени, в том числе: I – природно-рекреационная зона, лесопарк «Затюменский»; II – зона многоэтажной застройки; III – природно-рекреационная зона, Цимлянский пруд; IV – зона специального назначения, сквер «Комсомольский»; V – транспортная зона, подъездные пути у ТКАД; VI – зона малоэтажной застройки; VII – производственная зона, территория ремонтной базы; VIII – зона специального назначения, сквер у пруда Южный. Базовая карта: космоснимок, г. Тюмень. Фото: В.А. Глазунов

Результаты и обсуждение

В Калининском округе г. Тюмени нами выявлено 324 вида сосудистых растений (табл. 1), что составляет около трети от полного состава урбанофлоры [2]. С природными сообществами, сохраняющимися в пределах округа, связано наиболее высокое видовое богатство – в природно-рекреационной зоне выявлено 193 вида. Основу флоры здесь образуют аборигенные виды – 161 вид, или 83%. Лишь 32 вида представляют собой чужеродные растения, что определяет относительно низкий уровень адвентизации естественных растительных сообществ – 16% (табл. 1).

Исключительно в природно-рекреационной зоне, представляющей собой ядро экологического каркаса Тюмени, встречается 67 видов, 63 из которых являют-

ся аборигенными растениями. Среди специфичных видов выделяется группа водных и прибрежно-водных растений, связанных с поймами рек, например, полевичка амурская (*Eragrostis amurensis* Prob.), стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), щавель водный (*Rumex aquaticus* L.), влагилищцветник маленький (*Coleanthus subtilis* (Tratt.) Seidel ex Roem. & Schult.), мята полевая (*Mentha arvensis* L.) и другие. На остепненных склонах около Цимлянского пруда встречаются лугово-степные растения, например, воробейник лекарственный (*Lithospermum officinale* L.), вероника колосистая (*Veronica spicata* L.), спирея городчатая (*Spiraea crenata* L.), а также вишня кустарниковая (*Prunus fruticosa* Pall.) и ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), занесенные в Красную книгу

Тюменской области [13]. Исключительно в природных местообитаниях встречаются луговые растения, чувствительные к антропогенным нагрузкам, такие как зубровка душистая (*Hierochloa odorata* (L.) P. Beauv.), колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), герань луговая (*Geranium pratense* L.) и др. В лесных сообществах, представленных на территории лесопарка «Затюменский», произрастает группа специфичных лесных растений, например, золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), купена душистая (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), медуница мягкая (*Pulmonaria mollis* J. F. Wolff ex Hornem.), щитовник шартрский (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.).

В селитебной части города не отмечается резкое снижение видового разнообразия. Антропогенные местообитания насчитывают от 89 до 156 видов. Богаче по числу видов сообщества в парках, скверах и в зоне малоэтажной застройки с высоким уровнем озеленения. Практически не уступают им по количеству видов растительные сообщества многоэтажной застройки. Наименьшее число видов отмечено в сообществах транспортной функциональной зоны – только 89 видов. Отметим, что видовая насыщенность в расчете на 100 м² выше в сообществах антропогенных местообитаний – в среднем 42–45 видов, против 39 видов в природно-рекреационной зоне. Характерной чертой антропогенных местообитаний является наличие большого числа чужеродных видов в растительных сообществах, доля которых повышается до 32–49% (табл. 1). Соответственно участие аборигенных видов снижается.

В составе растительных группировок антропогенных местообитаний также выявлены специфичные виды, их число примерно равно таковому в природных сообществах и составляет 69 видов. Наибольшее число специфичных видов отмечено в растительных сообществах зон малоэтажной застройки (20 видов) и специального назначения (23 вида), а наименьшее в транспортной зоне, только 4 вида.

Группа специфичных видов антропогенных местообитаний содержит небольшое число аборигенных видов (21 вид). Среди них аборигенные виды, занесенные из природных сообществ, которые сохраняются в подходящих экологических условиях. Например, среди специфичных видов в зоне специального назначения отмечены водные и околородные растения – камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.). Эти виды произрастают в некоторых парках, где имеются небольшие водоемы. Другой пример – находки лесных видов, в частности только в парках отмечены кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), в транспортной зоне – жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum* L.), в зоне малоэтажной застройки встречен жерушник лесной (*Rorippa sylvestris* (L.) Besser), а в зоне многоэтажной отмечен лесной вид – ежевика сизая (*Rubus caesius* L.), занесенный в Красную книгу Тюменской области [13]. Интересны находки аборигенных видов: зорьки обыкновенной (*Silene chalconica* (L.) E. H. Krause) – в зоне специального назначения, полыни эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.) – в производственной зоне, лука угловатого (*Allium angulosum* L.) – в зоне многоэтажной застройки.

Абсолютное большинство специфичных видов составляют чужеродные растения (48 видов). Ожидается, что среди них много расселяющихся культивируемых растений, встречающихся близ мест культивирования. В частности, в зоне специального назначения обнаружены садовый ирис (*Iris × hybrida* hort.), василек подбеленный (*Psephellus dealbatus* (Willd.) K. Koch), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), крыжовник обыкновенный (*Ribes uva-crispa* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.); в зоне малоэтажной застройки – бруннера сибирская (*Brunnera sibirica* Steven), календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.), котовник кошачий (*Nepeta cataria* L.), хрен обыкновенный (*Armoracia rusticana* P. Gaertn., B. Mey. & Scherb.); в зоне многоэтажной застройки – василек

Табл. 1

Показатели видового богатства местообитаний функциональных зон г. Тюмени

Функциональная зона	Число видов (n)					
	Аборигенные		Чужеродные		Все	Среднее на 100 м ²
	n	%	n	%		
Природно-рекреационная	161	83,4	32	16,6	193	39,5
Многоэтажной застройки	72	51,4	68	48,6	140	45,6
Малоэтажной застройки	84	54,5	70	45,5	154	44,2
Производственная	68	56,7	52	43,3	120	46,2
Транспортная	60	67,4	29	32,6	89	42,3
Специального назначения	89	57,1	67	42,9	156	43,4
Итого, видов	199	61,4	125	38,6	324	–

Уровни сходства видового состава изученных функциональных зон города Тюмени
(коэффициенты Жаккара)

Функциональная зона	1	2	3	4	5	6
1. Природно-рекреационная	–	0,31	0,30	0,32	0,31	0,34
2. Многоэтажной застройки		–	0,56	0,49	0,34	0,55
3. Малоэтажной застройки			–	0,48	0,34	0,50
4. Производственная				–	0,45	0,49
5. Транспортная					–	0,33
6. Специального назначения						–

горный (*Centaurea montana* L.), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.), шиповник колючейший (*Rosa spinosissima* L.).

В ходе обследования обнаружены потенциально опасные инвазионные растения: рябинник обыкновенный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun) – в производственной зоне, недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle) – в зоне многоэтажной застройки, козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.) – в зоне специального назначения. Среди интересных находок чужеродных видов можно отметить подорожник прижатый (*Plantago depressa* Willd.) – в транспортной зоне (вид активно распространяется по дорогам), портулак огородный (*Portulaca oleracea* L.) и крапиву коноплевую (*Urtica cannabina* L.) – в зоне многоэтажной застройки, щирицу белую (*Amaranthus albus* L.) – в зоне специального назначения.

Сравнение видового сходства изученных функциональных зон г. Тюмени показало, что видовой состав природно-рекреационной зоны наиболее обособлен – коэффициент Жаккара изменяется в пределах от 0,30 до 0,34. Растительные сообщества антропогенных местообитаний менее дифференцированы по видовому составу, чем естественных, что подтверждают более высокие значения коэффициента видового сходства (табл. 2).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что растительные сообщества природных и антропогенных биотопов, ядер экологического каркаса Тюмени и озеленения селитебной зоны, характеризуются высоким видовым разнообразием и не уступают друг другу по уровню видовой богатства. Отличия касаются видового состава сообществ. В природных сообществах выше участие аборигенных видов, доля которых здесь 83%. В антропогенных сообществах, наоборот, повышается доля чужеродных видов – более 40%.

Еще одной отличительной особенностью природных сообществ является их видовая специфичность. В их состав входят уникальные аборигенные виды: луговые, лугово-степные, лесные. Основу видового состава антропогенных сообществ образуют широко распространенные виды-апофиты. Уникальные аборигенные виды могут присутствовать, но лишь как случайное, эпизодическое явление. Специфичность видового состава антропогенных растительных сообществ снижается и обеспечивается, преимущественно, чужеродными видами.

Другими словами, растительные сообщества ядер, или ключевых территорий экологического каркаса Тюмени содержат большинство аборигенных растений, что позволяет им выполнять важную роль в сохранении аборигенной флоры, в том числе редких, охраняемых видов, обеспечивать аутентичность и биотическую уникальность. В растительных сообществах селитебной зоны сохраняется высокий уровень видовой разнообразия растений, который обеспечивается повышенным участием чужеродных растений.

Для поддержания биоразнообразия городской территории и формирования идентичного облика городской среды Тюмени следует шире использовать аборигенные виды в городском озеленении путем максимального сохранения участков с природными сообществами и формирования новых природоподобных сообществ. Такой подход позволит создать устойчивый экологический каркас на городской территории, обеспечивающий улучшение экологической обстановки, предотвращение потери биоразнообразия и деградации городских экосистем.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Ботанического сада УрО РАН (№ 1022040100468-6-1.6.11;1.6.20) и Института проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН (№ FWRZ-2021-0006).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Банникова ЛА, Хриченков АВ, Бурцев АГ, Тиганова ИА, Третьякова АС, Груданов НЮ, Владыкина ВД. Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга. Лесной вестник. 2022;26(6):106-113. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113.
2. Глазунов ВА, Хозяинова НВ, Хозяинова ЕЮ. Флора города Тюмени. Фиторазнообразие Восточной Европы. 2020;14(4):420-97. doi: 10.24411/2072-8816-2020-10084.
3. Горецкая АГ, Топорина ВА. Исследование природно-экологического каркаса города. Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2022;2(46):34-47. doi: 10.25688/2076-9091.2022.46.2.04.
4. Гусейнов АН. Экология города Тюмени: состояние, проблемы. Тюмень; 2001.
5. Гушин АН, Дивакова МН. Водно-зеленый каркас Екатеринбурга: история, проблемы, будущее. Архитектон: известия вузов. 2022;2(78). doi: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-21.
6. Заголкина НМ, Спеваков БС, Вороговская ИЮ. Концепция «Водно-зеленого каркаса» города Белгород. В кн.: Геодезия и кадастры: производство и образование: Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород; 2021. С. 3-7.
7. Климанова ОА, Колбовский ЕЮ, Илларионова ОА. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018;63(2):127-46. doi: 0.21638/11701/srbu07.2018.201.
8. Климанова ОА, ред. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы; 2021.
9. Копосова НН, Плашкина АД. Проект участка водно-зеленого экологического диаметра г. Нижнего Новгорода. В кн.: Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции. Пенза; 2020. С. 70-6.
10. Матвеева АА, Пеленкова МГ. Оценка уровня озелененности городской территории устойчивого развития. В кн.: Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Международной ландшафтной конференции, Тюмень-Тобольск, 22-25 августа 2017 г. Т. 2. Тюмень; 2017. С. 158-63.
11. Меренков АВ, Янковская ЮС. Стратегии и перспективы развития Екатеринбурга. Концепция водно-зеленого каркаса. В кн.: Новые идеи нового века – 2017: материалы Семнадцатой международной научной конференции. Т. 1. Хабаровск; 2017. С. 291-7.
12. Пеленкова МГ, Матвеева АА. Формирование экологического зеленого каркаса г. Тюмени как элемента устойчивого развития территории. В кн.: Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов LI Международной студенческой научно-практической конференции ГАУ Северного Зауралья. Часть 1. Тюмень; 2017. С. 119-21.
13. Петрова ОА, ред. Красная книга Тюменской области: Животные, растения, грибы. Кемерово: ООО «Технопринт»; 2020.
14. Старков ВГ, Тюлькова ЛА. Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли. Тюмень: ИПП «Тюмень»; 1996.
15. Сухих ВА, Ремарчук СМ. Концепция развития водно-зеленого каркаса г. Томска. В кн.: Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: Материалы XII Международной научно-практической конференции. Том 1. Томск; 2022. С. 396-400.
16. Таргаева ЕЕ, Андреева ОС. Изучение особенностей формирования экологического каркаса индустриального города (на примере г. Новокузнецка). Географический вестник. 2018;3(46):83-91. doi: 10.17072/2079-7877-2018-3-83-91.
17. Цибульский ВР, ред. Тюмень начала XXI века. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН; 2002.

Общий список литературы/References

1. Bannikova LA, Khrichenkov AV, Burtsev AG, Tiganova IA, Tretyakova AS, Grudanov NYu, Vladykina VD. [Foundations of green areas formation in Ekaterinburg]. Lesnoy Vestnik. 2022;26(6):106-113. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-106-113. (In Russ.)
2. Glazunov VA, Khozyainova NV, Khozyainova EYu. [Flora of the Tyumen city]. Phytoraznoobrazie Vostochnoy Yevropy. 2020;14(4):420-97. doi: 10.24411/2072-8816-2020-10084. (In Russ.)
3. Goretskaya AG, Toporina VA. [A study of urban ecological carcass]. Vestnik MGPU Seriya Yestest-

- vennye Nauki.2022;2(46):34-47. doi: 10.25688/2076-9091.2022.46.2.04. (In Russ.)
4. Guseynov AN. *Ekologiya Goroda Tyumeni: Sostoyanie, Problemy*. [Ecology of Tyumen: Its State and Problems]. Tyumen; 2001. (In Russ.)
 5. Gushchin AN, Divakova MN. [Aqueous-greenery carcass of Yekaterinburg: history, problems, and future]. *Arkhitekton Izvestiya Vuzov*. 2022;2(78). doi: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-21. (In Russ.)
 6. Zatolokina NM, Spevakov BS, Vorogovskaya IYu. [A concept of aqueous-greenery carcass of Belgorod]. In: *Geodeziya i Kadastry: Proizvodstvo i Obrazovanie: Sbornik Dokladov Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii*. Belgorod; 2021. P. 3–7. (In Russ.)
 7. Klimanova OA, Kolbovsky EYu, Illarionova OA. [The ecological carcass of Russian major cities: spatial structure, territorial planning and main problems of development]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2018;63(2):127-46. doi: 0.21638/11701/spbu07.2018.201. (In Russ.)
 8. Klimanova OA, ed. *Ekosistemnye Uslugi Rossii: Prototip Natsionalnogo Doklada. T. 3. Zelionaya Infrastruktura i Ekosistemnye Uslugi Krupneyshikh Gorodov Rossii*. [Ecosystem Services of Russia: Prototype of a National Report. Vol. 3. Green Infrastructure and Ecosystem Services in the Largest Cities in Russia]. Moscow: Izdatelstvo Tsentra Okhrany Dikoy Prirody; 2021. (In Russ.)
 9. Koposova NN, Plashkina AD. [Project of a section of the aqueous-greenery ecological diameter of Nizhny Novgorod]. In: *Goroda Rossii: Problemy Stroitelstva, Inzhenernogo Obespecheniya, Blagoustrojstva i Ekologii: Sbornik Statey XXII Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii*. Penza; 2020. P. 70-6. (In Russ.)
 10. Matveyeva AA, Pelenkova MG. [Assessment of landscape gardening in an urban area under sustainable development]. In: *Lansshaftovedeniye: Teoriya, Metody, Landshastno-Ekologicheskoye Obespecheniye Prirodopolzovaniya i Ustoychivogo Razvitiya: Materialy XII Mezhdunarodnoy Landshaftnoy Konferentsii*. [Landscape Science: Theory, Methods, and Landscape-Ecological Support of Land Use and Sustainable Development: Proceedings of the XII International Landscape Conference, Tyumen-Tobolsk, 22-25 August 2017]. Vol. 2. Tyumen; 2017. P. 158-63. (In Russ.)
 11. Merenkov AV, Yankovskaya YuS. [City development strategy and perspectives of Yekaterinburg. A concept of aqueous-greenery carcass]. In: *Novye Idei Novogo Veka – 2017: Materialy Semnadsatoy Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferentsii*. [The New Ideas of New Century – 2017: Proceedings of the Seventeenth International Scientific Conference]. Vol. 1. Khabarovsk; 2017. P. 291-7. (In Russ.)
 12. Pelenkova MG, Matveyeva AA. [Formation of an ecological green carcass of Tyumen as an element of sustainable development of the territory]. In: *Aktualnye Voprosy Nauki i Khoziaystva: Novye Vyzovy i Resheniya. Sbornik Materialov LI Mezhdunarodnoy Studencheskoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii GAU Severnogo Zauralya. Chast 1*. Tyumen; 2017. P. 119-21. (In Russ.)
 13. Petrova OA, ed. *Krasnaya Kniga Tyumenskoj Oblasti: Zhivotnye, Rasteniya, Griby*. [Red Book of the Tyumen Region: Animals, Plants, and Fungi]. Kemerovo: OOO Tekhnoprint; 2020. (In Russ.)
 14. Starkov VG, Tyulkova LA. *Geologicheskaya Istoriya i Mineralnye Bogatstva Tyumenskoj Zemli*. [Geological History and Mineral Resources of Tyumen land]. Tyumen: IPP Tyumen; 1996. (In Russ.)
 15. Sukhikh VA, Remarchuk SM. [Concept for the development of an aqueous-greenery carcass of Tomsk]. In: *Investitsii, Gradostroitelstvo, Nedvizhimost kak Drayvery Socialno-Ekonomicheskogo Razvitiya Territorii i Povysheniya Kachestva Zhizni Naseleniya: Materialy XII Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii. Tom 1*. Tomsk; 2022. P. 396-400. (In Russ.)
 16. Targayeva YeYe, Andreyeva OS. [Formation of the ecological framework of an industrial city: specific features (a case study of Novokuznetsk)]. *Geograficheskii Vestnik*. 2018;3(46):83-91. doi: 10.17072/2079-7877-2018-3-83-91. (In Russ.)
 17. Tsibulskiy VR, ed. *Tyumen Nachala XXI Veka*. [Tyumen at the Beginning of the 21st Century]. Tyumen: Izdatelstvo IPOS SO RAN; 2002. (In Russ.)
 18. Ignatieva M, Meurk C, Stewart G. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology. *Landscape Rev*. 2008;12(2):61-73.
 19. Kuhn N. Intentions for the unintentional spontaneous vegetation as the basis for innovative planting design in urban areas. *J Landscape Architect*. 2006;1(2):46-53.
 20. Nassauer J. Messy ecosystems, orderly frames. *Landscape J*. 1995;14(2):161-70.
 21. PPG I. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *J Systemat Evolut*. 2016;54(6):563–603. doi: 10.1111/jse.12229.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*P. SYLVESTRIS* L.) В СРЕДНЕЙ СИБИРИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ ХЛОРОПЛАСТНЫХ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ

М.А. Шеллер^{1, 2, *}, Е. Чиокырлан², П.В. Михайлов¹,
С.С. Кулаков^{1, 3}, Н.Н. Кулакова¹, А.А. Ибе¹, Т.В. Сухих¹,
А.Л. Курту²

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени акад. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия; ² Трансильванский университет Брашова, Румыния; ³ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия

* Эл. почта: maralexsheller@mail.ru

Статья поступила в редакцию 08.10.2023; принята к печати 26.11.2023

Сосна обыкновенная – одна из основных лесообразующих пород России. Мы оценили генетическое разнообразие и дифференциацию естественных популяций сосны обыкновенной в Средней Сибири, используя микросателлитный анализ хлоропластной ДНК. Всего было выявлено 87 гаплотипов. В большинстве случаев (77) гаплотип встречался только один раз. Высокий уровень гаплотипического разнообразия ($H_{cp} = 0,993$) был выявлен во всех изученных популяциях. Анализ молекулярной дисперсии (AMOVA) показал, что генетическая дифференциация между популяциями составила только 3%. Полученные результаты могут быть использованы в мониторинге состояния генетических ресурсов сосны обыкновенной в Средней Сибири.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, Средняя Сибирь, генетическое разнообразие, микросателлитный анализ хлоропластной ДНК.

GENETIC DIVERSITY OF SCOTS PINE (*P. SYLVESTRIS* L.) IN MIDDLE SIBERIA ASSESSED BY ANALYSIS OF VARIABILITY OF CHLOROPLAST MICROSATELLITE LOCI

M.A. Sheller^{1, 2, *}, E. Ciocirlan², P.V. Mikhailov¹, S.S. Kulakov^{1, 3}, N.N. Kulakova¹, A.A. Ibe¹,
T.V. Sukhikh¹, A.L. Curtu²

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; ² Transilvania University of Brasov, Romania; ³ Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: maralexsheller@mail.ru

Scots pine is one of the main forest-forming tree species in Russia. We assessed the genetic diversity and differentiation of natural Scots pine populations in Middle Siberia using chloroplast microsatellite (cpSSR) loci. A total of 87 haplotypes have been detected. Most of them (77) were detected only once. High level of haplotype diversity ($H_{cp} = 0.993$) was observed in all populations studied. Analysis of molecular variance (AMOVA) showed that only 3% of the total variation occurred among populations. The results may be used in monitoring of the state of Scots pine genetic resources in Middle Siberia.

Keywords: Scots pine, Middle Siberia, genetic diversity, microsatellite analysis of chloroplast DNA.

Введение

Генетическое разнообразие имеет важное значение для сохранения видов. Высокий уровень генетического разнообразия улучшает способность видов адаптироваться к изменяющимся условиям среды, повышает

устойчивость к заболеваниям и способствует успешному воспроизводству [12–14, 19].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одна из наиболее распространенных древесных пород в бореальных лесах Евразии – имеет большое экологиче-

ское и социально-экономическое значение [8, 15, 19, 24, 26]. В России сосновые леса сосредоточены в Сибири, где на их долю приходится до 30% всех хвойных лесов [1]. Сосновые леса находятся на первом месте по площади вырубок и объему вырубаемой древесины в России [3]. В то же время процессы лесовосстановления носят пассивный характер, часто значительно затягиваются и протекают с нежелательной сменой древесных пород [3]. Из-за природных и антропогенных факторов площадь сосновых лесов в России за последние десять лет сократилась на 2 млн га [23]. Таким образом, изучение генетического разнообразия сосны обыкновенной в России имеет важное значение для разработки программ по сохранению данного вида, а также для мониторинга состояния лесных генетических ресурсов Сибири [2, 5].

В настоящее время генетическое разнообразие лесных древесных растений интенсивно изучается с использованием молекулярных маркеров [23]. Хлоропластные микросателлиты (cpSSR) являются одними из универсальных и эффективных молекулярных маркеров, которые используются при оценке генети-

ческого разнообразия и структуры популяций, а также в филогенетических исследованиях [7, 10, 17, 20]. Эти маркеры уже длительное время применяются и для оценки генетических ресурсов сосны обыкновенной [6, 18, 25].

В данном исследовании мы использовали микросателлитные маркеры хлоропластной ДНК для оценки генетического разнообразия десяти естественных популяций сосны обыкновенной в Средней Сибири.

Материалы и методы

Объектами исследования являются 10 популяций сосны обыкновенной, произрастающих на территории Красноярского края (рис. 1). В каждой популяции случайным образом было выбрано по десять взрослых деревьев. Отобранная с деревьев хвоя хранилась в силикагеле до выделения ДНК.

Геномную ДНК выделяли из высушенной хвои СТАВ-методом [9]. Качество выделенной ДНК проверяли с помощью спектрофотометра Nanodrop 8000 (Thermo Fisher Scientific, США). Все образцы ДНК были доведены до концентрации 10 нг/мкл. Молеку-

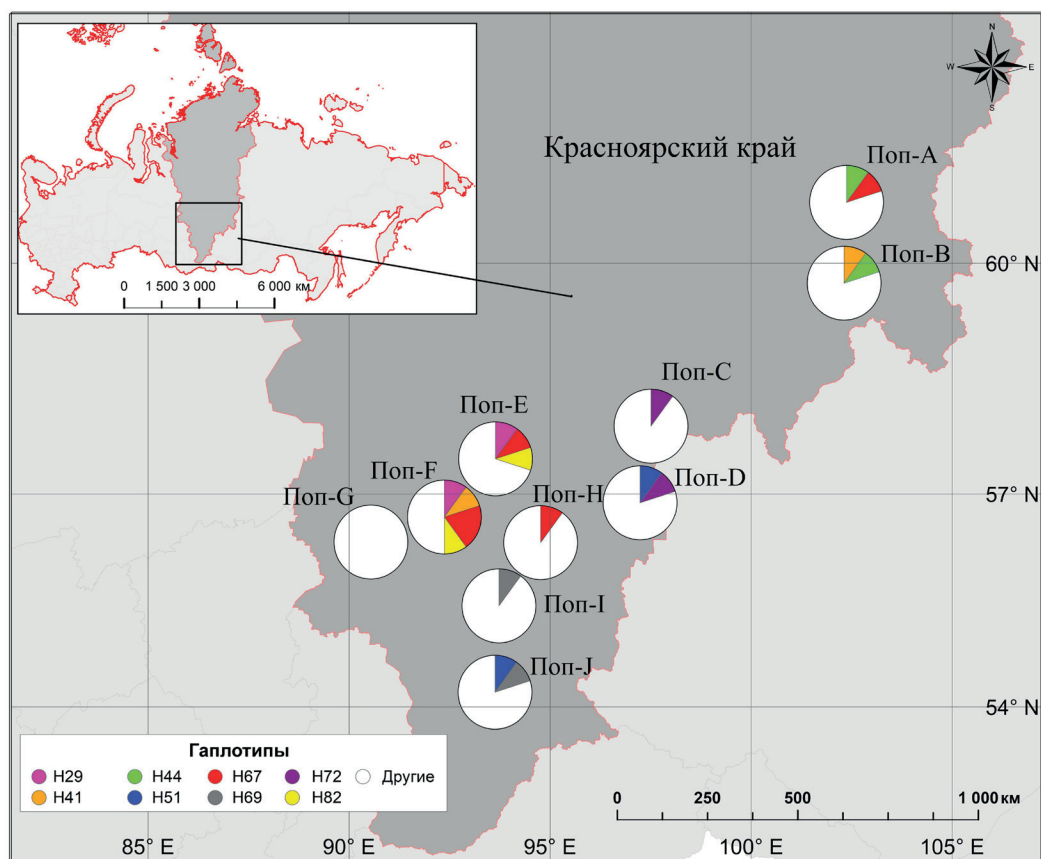


Рис. 1. Расположение популяций сосны обыкновенной в Средней Сибири и частоты восьми наиболее распространенных гаплотипов в изученных популяциях

лярный анализ был проведен с использованием десяти микросателлитных хлоропластных маркеров: РСР45071, РСР36567, РСР48256, РСР41131, РСР30277, РСР26106, Pt1254, Pt15169, Pt71936, Pt87268 [18, 27]. Амплификацию проводили в двух мультиплексных реакциях с использованием набора Qiagen Multiplex PCR (Qiagen, Германия) в условиях, рекомендованных производителем: начальная денатурация в течение 15 мин при 95 °С, затем 30 циклов по 15 с при 94 °С, 1 мин 30 с при 60 °С (для набора из 6 локусов РСР) и 58 °С (для набора из 4 локусов Pt), 1 мин 30 с при температуре 72 °С и заключительная элонгация 10 мин при температуре 72 °С. Амплифицированные фрагменты анализировали на генетическом анализаторе GenomeLab GeXP (Beckman Coulter, Fullerton, CA).

НАPLOTYPЕ ANALYSIS 1.05 [11] использовался для оценки следующих параметров генетического разнообразия: число гаплотипов (*A*); количество частных гаплотипов (*P*); эффективное число гаплотипов

(N_E); гаплотипическое разнообразие (H_{CP}) и среднее значение генетических расстояний между индивидами в популяции (D^2_{sh}).

Анализ молекулярной дисперсии (AMOVA) был проведен с использованием GenAlEx версии 6.5 [16]. Статистическая значимость теста AMOVA была рассчитана для всех популяций и локусов на основе 999 пермутаций.

Результаты

Анализ микросателлитных локусов хлоропластной ДНК у 100 деревьев сосны обыкновенной выявил 87 гаплотипов. В большинстве случаев (77) гаплотип встречался только один раз. Наибольшее количество частных гаплотипов (десять) было обнаружено в популяции Поп-Г, а наименьшее (пять) – в популяции Поп-Ф (табл. 1).

Гаплотип Н67 был обнаружен в 4 из 10 исследуемых популяций (Поп-А, Поп-Е, Поп-Ф, Поп-Н) (рис. 1, табл. 2).

Табл. 1

Основные показатели генетической изменчивости популяций сосны обыкновенной

(*N* – размер выборки; *A* – число гаплотипов; *P* – число частных гаплотипов; N_E – эффективное число гаплотипов; H_{CP} – гаплотипическое разнообразие; D^2_{sh} – среднее значение генетических расстояний между индивидами в популяции)

Популяция	Показатель				
	<i>A</i>	<i>P</i>	N_E	H_{CP}	D^2_{sh}
Поп-А	10	8	10,000	1,000	4,169
Поп-В	10	8	10,000	1,000	5,316
Поп-С	10	9	10,000	1,000	4,382
Поп-Д	8	6	7,143	0,956	4,473
Поп-Е	10	7	10,000	1,000	5,024
Поп-Ф	9	5	8,333	0,978	5,433
Поп-Г	10	10	10,000	1,000	4,322
Поп-Н	10	9	10,000	1,000	3,716
Поп-И	10	9	10,000	1,000	4,409
Поп-Ж	10	8	10,000	1,000	7,522
Среднее	9,700	7,900	9,548	0,993	4,877

Табл. 2

Частоты восьми наиболее распространенных гаплотипов в 10 популяциях сосны обыкновенной в Средней Сибири

Гаплотип	Популяция									
	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж
Н29					0,1	0,1				
Н41		0,1				0,1				
Н44	0,1	0,1								
Н51				0,1						0,1
Н67	0,1				0,1	0,2		0,1		
Н69									0,1	0,1
Н72			0,1	0,1						
Н82					0,1	0,1				

Анализ молекулярной дисперсии (AMOVA)

Источник изменчивости	Степень свободы	Сумма квадратов отклонений	Компоненты изменчивости	Изменчивость, %
Между популяциями	9	27,820	0,069	3
В пределах популяций	90	215,700	2,397	97
Всего	99	243,520	2,466	100

Внутрипопуляционный анализ показал, что все исследуемые популяции характеризуются высоким уровнем гаплотипического разнообразия ($H_{CP} = 0,956–1,000$) (табл. 1). Эффективное число гаплотипов на популяцию варьировало от 7,143 до 10, а среднее значение генетических расстояний между индивидами – от 3,716 (Поп-Н) до 7,522 (Поп-Л). AMOVA-анализ показал, что основная часть генетической дисперсии, обнаруженной на основе исследования хлоропластных микросателлитных локусов, приходится на изменчивость внутри популяций (97%), межпопуляционная доля составляет 3% ($\Phi_{iPT} = 2,8\%$, $p = 0,02$) (табл. 3).

Обсуждение

Высокий уровень гаплотипического разнообразия ($H_{CP} = 0,993$) был выявлен во всех исследуемых популяциях сосны обыкновенной в Средней Сибири. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями в Европе и Азии. Например, высокий уровень гаплотипического разнообразия ($H_{CP} = 0,991$) был выявлен в семи популяциях сосны обыкновенной из Шотландии и в восьми популяциях из континентальной Европы [18], а также в 38 популяциях сосны обыкновенной из Азии и Восточной Европы ($H_{CP} = 0,984$) [4]. Более низкие значения H_{CP} были обнаружены в 13 популяциях сосны обыкновенной из Испании ($H_{CP} = 0,978$) [21] и в четырех популяциях из северной части Италии ($H_{CP} = 0,92$) [22]. Высокое гаплотипическое разнообразие, наблюдаемое у исследуемых популяций сосны обыкновенной, можно объяснить интенсивным потоком генов между популяциями. В данном исследовании это может быть подтверждено присутствием гаплотипа H67 в 4 из 10 исследуемых популяций.

Низкий уровень генетической дифференциации популяций сосны обыкновенной в Средней Сибири был выявлен с помощью AMOVA-анализа ($\Phi_{iPT}=3\%$), что согласуется с результатами других исследований [4, 18]. Низкая дифференциация между исследуемыми популяциями может свидетельствовать об их общей филогеографической истории.

Полученные результаты показывают, что популяции сосны обыкновенной в Средней Сибири характеризуются высоким уровнем генетического разнообразия и низким уровнем генетической дифференциации.

Заключение

Оценка генетического разнообразия 10 популяций сосны обыкновенной на территории Средней Сибири выявила высокий уровень генетического разнообразия в исследуемых популяциях и низкую степень генетической дифференциации между ними. Полученные результаты могут быть использованы в мониторинге состояния генетических ресурсов сосны обыкновенной на территории Средней Сибири.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

Благодарности. Авторы выражают особую благодарность Красноярскому региональному центру коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН за предоставленное оборудование для обеспечения выполнения проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Иванова ГА, Кукавская ЕА, Жила СВ. Воздействие пожаров на параметры баланса углерода и компоненты экосистемы в светлохвойных лесах средней Сибири. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2010;4(2):54-8.
2. Ильинов АА, Раевский БВ. Состояние генофонда сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в Карелии. *Сибирский лесной журнал*. 2016;5:45-54.
3. Маркатюк АА, Рунова ЕМ, Гаврилин ИИ, Ведерников ИБ. Современное состояние бореаль-

- ных лесов Восточной Сибири в аспекте естественного возобновления сосны обыкновенной. Системы Методы Технологии. 2013;1(17):163-9.
4. Семериков ВЛ, Семерикова СА, Дымшакова ОС, Зацепина КГ, Тараканов ВВ, Тихонова ИВ, Экарт АК, Видякин АИ, Жамьянсурен С, Роговцев РВ, Кальченко ЛИ. Полиморфизм микросателлитных локусов хлоропластной ДНК сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Азии и Восточной Европе. Генетика. 2014;50(6):577-85.
 5. Торбик ДН, Бедрицкая ТВ, Власова ММ, Синельников ИГ. Генетическое разнообразие естественных популяций *Pinus sylvestris*. В кн.: Демидов НА, ред. Труды Федерального бюджетного учреждения «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства». Архангельск; 2019. С. 91-9.
- Общий список литературы/References**
1. Ivanova GA, Kukavskaya EA, Zhila SV. [Fire impact on carbon balance parameters and ecosystem components of light-coniferous forests of central Siberia]. Interekspo Geo-Sibir'. 2010;4(2):54-8. (In Russ.)
 2. Ilyin AA, Raevsky BV. [The current state of *Pinus sylvestris* L. gene pool in Karelia]. Sibirskiy Lesnoy Zhurnal. 2016;5:45-54. (In Russ.)
 3. Markatiuk AA, Runova YeM, Gavrilin II, Vedernikov IB. [Current state of East Siberian boreal forests in the aspect of natural *Pinus sylvestris* L. regeneration systems]. Sistemy Metody Tekhnologii. 2013;1(17):163-9. (In Russ.)
 4. Semerikov VL, Semerikova SA, Dymshakova OS, Zatssepina KG, Tarakanov VV, Tikhonova IV, Ekart AK, Vidiakin AI, Jamyansuren S, Rogovtsev RV, Kalchenko LI. [Microsatellite loci polymorphism of chloroplast DNA of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Asia and Eastern Europe]. Genetika. 2014;50(6):577-85. (In Russ.)
 5. Torbik DN, Bedrickaya TV, Vlasova MM, Sinelnikov IG. [Genetic Diversity of Natural Populations of *Pinus sylvestris*]. In: Demidov NA, ed. Trudy Federalnogo Biudzhethnogo Uchrezhdeniya «Severnyi Nauchno-issledovatel'skiy Institut Lesnogo Kyoziyastva». Arkhangel'sk; 2019. P. 91-9. (In Russ.)
 6. Bernhardsson C, Floran V, Ganea SL and García-Gil MR. Present genetic structure is congruent with the common origin of distant Scots pine populations in its Romanian distribution. Forest Ecol Manag. 2016;361:131-43.
 7. Cui B, Deng P, Zhang S, Zhao Z. Genetic diversity and population genetic structure of ancient *Platycladus orientalis* L. (Cupressaceae) in the middle reaches of the Yellow River by chloroplast microsatellite markers. Forests 2021;12:592.
 8. Dering M, Kosiński P, Wyka T P, Pers-Kamczyc E, Boratyński A, Boratyńska K, Reich P B, Romo A, Zadworny M, Żytkowiak R, Oleksyn J. Tertiary remnants and Holocene colonizers: Genetic structure and phylogeography of Scots pine reveal higher genetic diversity in young boreal than in relict Mediterranean populations and a dual colonization of Fennoscandia. Diversity Distrib. 2017;23:540-55.
 9. Doyle JJ, Doyle JL. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus. 1990;12:13-5.
 10. Ebert D, Peakall R. Chloroplast simple sequence repeats (cpSSRs): Technical resources and recommendations for expanding cpSSR discovery and applications to a wide array of plant species. Mol Ecol Resour. 2010;9:673-90.
 11. Eliades N-G, Eliades DG. HAPLOTYPE ANALYSIS: software for analysis of haplotypes data. Distributed by the authors. Goettingen: Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University; 2009.
 12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of the World's Forest Genetic Resources. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome; 2014.
 13. González-Díaz P, Cavers S, Iason G R, Booth A, Russell J, Jump AS. Weak isolation by distance and geographic diversity gradients persist in Scottish relict pine forest. iForest. 2018;11:449-58.
 14. Ivetić V, Devetaković J, Nonić M, Stanković D, Šijačić-Nikolić M. Genetic diversity and forest reproductive material – from seed source selection to planting. iForest. 2016;9:801-12.
 15. Naydenov K, Senneville S, Beaulieu J, Tremblay F, Bousquet J. Glacial vicariance in Eurasia: mitochondrial DNA evidence from scots pine for a complex heritage involving genetically distinct refugia at mid-northern latitudes and in Asia Minor. BMC Evol Biol. 2007;7(1):233.
 16. Peakall R, Smouse PE. GenAlEx 6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Mol Ecol Notes. 2006;6:288-95.
 17. Porth I, El-Kassaby YA. Assessment of the genetic diversity in forest tree populations using molecular markers. Diversity. 2014;6:283-95.
 18. Provan J, Soranzo N, Wilson NJ, McNicol JW, Forrest GI, Cottrell J, Powell W. Gene-pool variation in Caledonian and European Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) revealed by chloroplast simple sequence repeats. Proc Roy Soc L Ser B. 1998;265:1697-705.
 19. Przybylski P, Tereba A, Meger J, Szyp-Borowska I, Tyburski Ł. Conservation of genetic diversity of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in a Central European national park based on cpDNA. Stud Divers. 2022;14(2):93.

20. Rai KC, Ginwal HS. Microsatellite analysis to study genetic diversity in Khasi Pine (*Pinus Kesiya* Royle Ex. Gordon) using chloroplast SSR markers. *Silvae Genet.* 2018;67:99-105.
21. Robledo-Arnuncio JJ, Collada C, Alia R, Gil L. Genetic structure of montane isolates of *Pinus sylvestris* L. in a Mediterranean refugial area. *J Biogeogr.* 2005;32(4):595-605.
22. Scalfi M, Piotti A, Rossi M, Piovani P. Genetic variability of Italian southern Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations: The rear edge of the range. *Eur J Forest Res.* 2009;128:377-86.
23. Sheller M, Ciocîrlan E, Mikhaylov P, Kulakov S, Kulakova N, Ibe A, Sukhikh T, Curtu AL. Chloroplast DNA Diversity in Populations of *P. sylvestris* L. from Middle Siberia and the Romanian Carpathians. *Forests.* 2021;12:1757.
24. Şofletea N, Mihai G, Ciocîrlan E, Curtu AL. Genetic diversity and spatial genetic structure in isolated Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) populations native to eastern and southern Carpathians. *Forests.* 2020;11(10):1047.
25. Urbaniak L, Wojnicka-Półtorak A, Celiński K, Lesiczka P, Pawlaczyk E. Genetic resources of relict populations of *Pinus sylvestris* (L.) in Western Carpathians assessed by chloroplast microsatellites. *Biologia.* 2019:1-10.
26. Vasilyeva Y, Chertov N, Nechaeva Y, Sboeva Y, Pystogova N, Boronnikova S, Kalendar R. Genetic structure, differentiation and originality of *Pinus sylvestris* L. populations in the east of the East European Plain. *Forests.* 2021;12:999.
27. Vendramin GG, Lelli L, Rossi P, Morgante M. A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Mol Ecol.* 1996;5:111-4.



САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ В ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ПРИГОРОДА КРАСНОЯРСКА

А.И. Татаринцев*, Н.Н. Кулакова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика
М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

* Эл. почта: lespat@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.08.2023; принята к печати 06.12.2023

Сосновые насаждения в подтаежных пригородных лесах Красноярск являются объектами рекреационного лесопользования, особенно летом. В настоящей работе на шести пробных площадях изучены санитарное состояние рекреационных сосняков и определяющие его факторы. Рекреационная нарушенность сосняков соответствует I–IV стадиям дистрессии при относительной площади оголенной поверхности почвы 1–40%. Виталитетные спектры древостоев характеризуются правосторонней асимметрией, в критично нарушенных сосняках повышена доля деревьев разной степени ослабления. С усилением рекреационной нагрузки значительно ухудшается состояние древостоев, возрастает доля погибших деревьев. Отсутствие значимой связи среднего индекса состояния древостоя с запасом древесного опада указывает на слабую информативность последнего показателя при оценке текущего состояния рекреационных сосняков, что объясняется санитарной элиминацией погибших деревьев. В этом отношении информативен запас деревьев I-й категории состояния (без признаков ослабления). Из выявленных болезней наиболее вредоносен для сосны смоляной рак. Распространенность болезней не превышает 4%, их влияние на текущее санитарное состояние древостоев незначительно. Распространена (до 36%) сухобожность (последствие механического и пирогенного воздействия), ослабляющая деревья при значительной площади травмирования ствола. Доминирующие виды насекомых-ксилофагов – сосновые лубоеды. Показана значимая прямая корреляция численности лубоедов со средним индексом состояния древостоя и запасом усыхающих и усохших деревьев. Обозначены основные меры оптимизации состояния рекреационных сосняков.

Ключевые слова: сосняки, рекреационная дистрессия, санитарное состояние, древесный опад, болезни и повреждения, сосновые лубоеды.

THE SANITARY CONDITION OF RECREATIONAL PINERIES IN SUB-TAIGA FORESTS OF KRASNOYARSK SUBURBS

A.I. Tatarintsev*, N.N. Kulakova

M.F. Reshetnev Siberian State University of Sciences and Technologies,
Krasnoyarsk, Russia

* Email: lespat@mail.ru

Pineries in the sub-taiga forests of Krasnoyarsk suburbs are exploited for recreation especially in summer. In the present study, six test plots were evaluated for the sanitary condition of pineries, and factors that determine the condition were established. The recreation-caused compromised condition of pineries correspond to digression stages I–IV, the share of bare land surface in the total area ranging from 1 to 40%. The vitality score distributions feature right-side asymmetries. In critically compromised pineries, the proportions of trees having different degrees of weakness are increased. With increasing the recreations load, tree stand conditions significantly worsen and the proportions of dead trees increase. There was no significant correlation between the mean index of tree stand condition and the amount of litter, which suggests that the latter parameter is hardly relevant for assessing the current condition of recreational pineries, the likely cause being the sanitary elimination of dead trees. In this regard, the stock of 1st category trees showing no manifestation of weakness is more informative. Among diseases detected, those caused by rust fungi are the most hazardous. However, disease prevalence is within 4%, and their impact on the current pinery condition is insignificant. Highly prevalent (up to 36%) are wood lesions caused by mechanical and pyrogenic impacts, which compromise tree conditions when affect much of tree trunk. Among xylophage insects, pine beetles are predominant. A significant positive correlation between pine beetle population density and drying and dry pine stocks has been found. Measures for optimizing the condition of recreational pineries have been suggested.

Keywords: pinery, recreational digression, sanitary condition, tree litter, tree diseases and lesions, pine beetles.

Введение

Лесные насаждения – важная составляющая урбозкосистем и пригородных территорий. Они выполняют разносторонние экологические функции, имеют рекреационное значение [4, 8, 15, 20]. Увеличение доли селитебных ландшафтов в лесных регионах неизбежно приводит к возрастанию роли рекреационного лесопользования [8]. В то же время рекреационные нагрузки высокой интенсивности, наряду с хроническим техногенным загрязнением, становятся факторами нарушения экосистем городских и пригородных лесов на всех уровнях их организации [1, 14, 16, 17, 19]. Для сохранения, повышения продуктивности и функционального потенциала лесов урбанизированных территорий необходим комплекс адекватных природоохранных, лесохозяйственных и иных мероприятий, основывающийся на систематическом мониторинге их состояния [6–8].

Пригородные леса г. Красноярска, расположенного в долине реки Енисей, относятся к горно-таежным и лесостепным ландшафтам [9]. Преобладают травяные леса сосновой (*Pinus sylvestris* L.) и березовой (*Betula pendula* Roth.) формаций, которые являются объектами многолетнего комплексного мониторинга [10, 11]. При этом наиболее изучены лесостепные массивы, в меньшей степени – пригородные таежные (подтаежные) леса в предгорьях Восточного Саяна, которые в последние годы в значительной степени подвергаются воздействию агрессивной транспортной бездорожной рекреации. Цель данной работы – оценить текущее санитарное состояние рекреационных сосняков, примыкающих к западной окраине левобережной части г. Красноярска. Решались следующие задачи: определить рекреационную нарушенность сосняков, установить виталитетную структуру древостоев и выполнить интегральную оценку их санитарного состояния с учетом рекреационной дигрессии насаждений, выявить основные болезни (повреждения) деревьев, виды насекомых-дендрофагов, оценить их вредоносность.

Материалы и методы исследований

Исследования выполнены в пригородных сосняках Караульного лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М.Ф. Решетнева, которые относятся к подтаежным лесам в экотоне лесостепной тайга. В рекреационных сосновых насаждениях, сопоставимых по лесоводственно-таксационным показателям, было заложено по непрошедшей ходовой линии шесть безразмерных пробных площадей (ПП) (табл. 1), которые включали 100–150 деревьев главного яруса. На пробных площадях по общепринятой

методике¹ [3] проведено детальное (инструментальное) лесопатологическое обследование древостоев. Все деревья подразделяли по четырехсантиметровым ступеням диаметра стволов на высоте 1,3 м к категориям состояния (состояние деревьев оценивали по кроне): 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – утратившие жизнеспособность (погибшие), в том числе свежий и старый сухостой. Фиксировали наличие повреждений стволов, пораженность деревьев болезнями, которые определяли по специфическим макроскопическим признакам. Так, смоляной рак диагностировали на стволах в зоне расположения живых ветвей по темным ранам с подтеками смолы и по наличию эциального спороношения возбудителя по периферии ран; бактериальный рак – по свилеватым бугорчатым наростам. Стволовую гниль устанавливали по явному признаку – наличию плодовых тел (базидиом) возбудителя на стволах. Насекомых-ксилофагов устанавливали по характерным следам жизнедеятельности под корой усыхающих и усохших деревьев: маточные, личиночные ходы, вылетные отверстия. Стадию рекреационной нарушенности (дигрессии) сосняков определяли трансектным методом согласно ОСТ 56-100-95² по относительной площади поверхности живого напочвенного покрова, вытопанной до минерального горизонта.

Для оценки численности сосновых лубоедов в изучаемых сосняках был выполнен осенний (в первой декаде октября) учет интенсивности дополнительного питания лубоедов. По принятой методике [2], в пределах каждой пробной площади на 30–35 равномерно размещенных площадках размером 1 м² подсчитывали количество опавших на поверхность почвы (лесной подстилки) побегов сосны, поврежденных молодыми жуками лубоедов.

При интегральной оценке санитарного состояния древостоев *P. sylvestris* использовали следующие показатели: соотношение деревьев разных категорий состояния (виталитетный спектр), средневзвешенная категория (средний индекс) состояния древостоя (K_{cp}), параметры отпада деревьев. K_{cp} рассчитывали по формуле:

$$K_{cp} = (P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5) / 100, \quad (1)$$

где: P_i – относительная сумма поперечного сечения стволов на высоте 1,3 м (далее – относительный запас) деревьев каждой категории состояния, %; K_i – индекс

¹ Правила санитарной безопасности в лесах: Утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047.

² ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы».

**Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений (древостоев)
на пробных площадях**

ПП (квартал/выдел)*	Состав, тип леса	Средние			Класс бонитета	Относительная полнота	Стволовой запас, м ³ /га
		Возраст, годы	Высота, м	Диаметр, см			
1 (50/27)	10С, осочково-разнотравный	115	23	37,5	3	0,7	300
2 (51/19)	10С, осочково-разнотравный	130	25	31,0	3	0,5	220
3 (51/20)	10С+Б, осочково-разнотравный	130	26	42,8	2	0,6	300
4 (52/8)	10С, осочково-разнотравный	130	26	35,7	2	0,6	260
5 (52/3 нижняя часть)	10С, осочково-разнотравный	130	26	37,3	2	0,8	380
6 – контроль (52/3 верхняя часть)	10С, осочково-разнотравный	130	26	35,9	2	1,0	410

* В границах Караульного лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

категории состояния деревьев (1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – погибшие).

При $K_{cp} \leq 1,5$ древостой в среднем не имеет видимых признаков ослабления; при $1,5 < K_{cp} \leq 2,5$ древостой в среднем ослаблен; при $2,5 < K_{cp} \leq 3,5$ сильно ослаблен; при $3,5 < K_{cp} \leq 4,5$ усыхает; при $K_{cp} > 4,5$ утратил жизнеспособность.

По материалам обследования на каждой пробной площади определяли распространенность (Р, %) болезней, повреждений по формуле:

$$P = 100 \cdot n/N, \quad (2)$$

где n – сумма поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м совокупности деревьев с признаками конкретного поражения (повреждения), м²; N – сумма поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м всех деревьев на ПП, м².

Вредоносность выявленных болезней (повреждений) для деревьев сосны оценивали по значению среднего индекса состояния (K_{cp}), который рассчитывали для

каждой выборки деревьев с признаками конкретного поражения (повреждения) по формуле 1.

Взаимосвязь анализируемых показателей оценивали по непараметрическому коэффициенту Спирмена (исходя из малого объема выборки). Статистические расчеты проводили с помощью программ STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение

Привлекательное расположение исследуемых сосняков на прибрежной террасе р. Енисей, близость урботерритории, присутствие дачных участков и учебной базы обуславливают многолетние рекреационные нагрузки на лесные экосистемы. Рекреационная нарушенность сосняков в пределах изучаемой лесопокрытой территории достигает максимальных стадий (табл. 2). При этом на разных участках дигрессия неравнозначна, что определяется различной интенсивностью рекреационной нагрузки на насаждения, особенно в летний период, наличием проходных троп и лесных дорог. Особенно показательно в этом отношении варьирование степени нарушенности

наиболее чувствительного к рекреационному воздействию (вытаптыванию) компонента лесного фитоценоза – живого напочвенного покрова (ЖНП), по которой и устанавливалась стадия дигрессии (табл. 2). Данный количественный показатель рекреационной нарушенности насаждений используется в последующем анализе.

Непосредственным отражением состояния исследуемых сосновых древостоев является их виталитетная структура (рис. 1).

На всех участках (пробных площадях) отмечается правосторонняя асимметрия в распределении деревьев по категориям состояния с преобладанием экземпляров лучших категорий (без признаков ослабления, ослабленные). Это указывает в целом на относительно удовлетворительное жизненное

состояние рекреационных сосняков в районе исследований. Такая позитивная асимметрия в виталитетном спектре древостоев наиболее выражена в менее нарушенных рекреацией насаждениях: на ПП 5 и тем более на ПП 6. Согласно расчетным значениям среднего индекса состояния (K_{cp}) древостои на этих пробных площадях являются здоровыми (жизнеспособными) (табл. 3). Древостои, продуцирующие на фоне повышенной рекреационной нагрузки (ПП 1-4), характеризуются ослабленным состоянием ($K_{cp} = 1,6-1,9$) (там же). Корреляция среднего индекса состояния древостоя с показателем рекреационной нарушенности насаждений составила 0,812 ($<0,05$) (табл. 4). Таким образом, при относительной антропоустойчивости древесных растений [5] длительные рекреационные нагрузки

Табл. 2

Показатели нарушенности сосняков вследствие рекреационной нагрузки

Пробные площади	1	2	3	4	5	6
Относительная площадь вытоптанной поверхности ЖНП, %	23	26	28	40	11	1
Стадия дигрессии	IV	V	V	V	IV	I

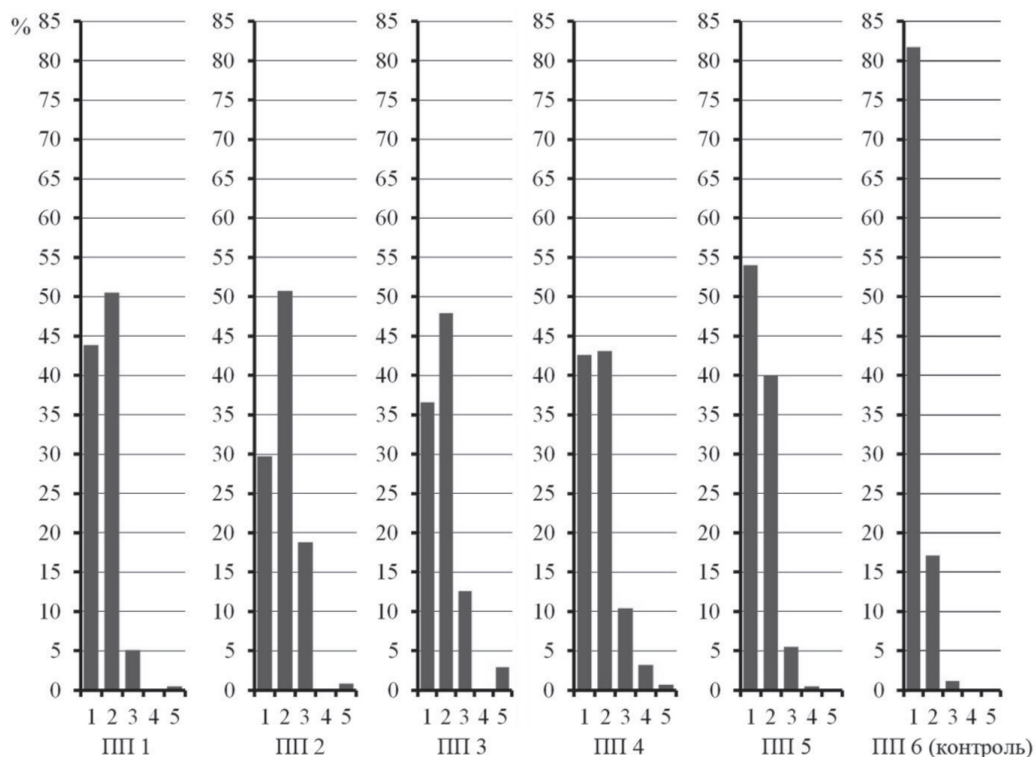


Рис. 1. Виталитетная структура древостоев *P. sylvestris*: по горизонтали – категории состояния деревьев; по вертикали – относительный запас деревьев

Показатели санитарного состояния древостоев *Pinus sylvestris*

ПП	Средневзвешенная категория состояния древостоя (K_{cp})	Параметры отпада (деревья 4, 5 категорий состояния)		
		Относительный запас отпада, %		Средний диаметр, см
		общего	текущего	
1	1,6	0,5	0	28,1
2	1,9	0,8	0	18,0
3	1,9	2,9	0,8	34,1
4	1,8	3,9	3,2	32,2
5	1,5	0,5	0,5	22,0
6	1,2	0	0	–

Матрица корреляций (коэффициенты Спирмена) рекреационной нарушенности сосняков (относительная площадь вытоптанной поверхности ЖНП) и основных показателей состояния древостоя

Показатели	Рекреационная нарушенность	Запас деревьев 1-й категории состояния	Запас отпада	Средний индекс состояния
Рекреационная нарушенность	1	–	–	–
Запас деревьев 1-й категории состояния	–0,771	1	–	–
Запас отпада	0,986*	–0,754	1	–
Средний индекс состояния	0,812	–0,986	0,794	1

* Значимые коэффициенты корреляции ($p < 0,05$).

высокой интенсивности приводят к значимому угнетению (ослаблению) сосновых древостоев, что согласуется с данными других исследователей [12, 13, 16, 18].

Относительный запас деревьев, относящихся к отпаду, в изучаемых сосняках незначительный; даже в наиболее нарушенных насаждениях (ПП 4) общий отпад не превышает 4% (табл. 3). Это можно объяснить оперативным удалением погибших аварийных деревьев в пригородных лесах. Средний диаметр погибших деревьев ниже среднего по древостою, что указывает на первостепенный отпад мелкоствольных деревьев (классов Крафта III–V) вследствие конкурентного давления в синергизме с рекреационной нагрузкой. Низкая информативность параметров древесного отпада при оценке текущего состояния исследуемых сосновых древостоев подтверждается отсутствием значимой связи между долей отпада и средним индексом состояния древостоя (K_{cp}) (табл. 4). Тем не менее, выявлена значимая прямая взаимосвязь количества отпада с уровнем рекреационной нарушенности сосняков, что дополнительно подтверждает негативное влияние

рекреации на состояние древостоев. Значимая связь между K_{cp} и запасом деревьев 1-й категории состояния (без признаков ослабления) указывает на информативную пригодность последнего показателя для оценки состояния сосняков в местах активного рекреационного лесопользования.

В исследуемых древостоях выявлены немногочисленные типичные для *Pinus sylvestris* инфекционные болезни (табл. 5). Наиболее вредоносен для деревьев смоляной рак (серянка). Многолетнее хроническое развитие болезни приводит их к сильному ослаблению и последующему усыханию (в пределах выборки пораженных серянкой деревьев $K_{cp} = 2,0–5,0$). Деревья с признаками хронического поражения бугорчатым раком и центральной стволовой гнилью на фоне рекреационного воздействия также характеризуются некоторым ослаблением относительно остальной части ценопопуляции. Однако распространенность некротико-раковых болезней в среднем не превышает 2%, стволовой гнили – 4% (табл. 5), что указывает на отсутствие определяющей роли патологических факторов в развитии текущей санитарной обстановки в сосняках.

Показатели проявления болезней, повреждений в сосняках: числитель – распространенность (%), знаменатель – K_{cp} больных, поврежденных деревьев

Болезнь, повреждение (возбудитель, причина)	ПП					
	1	2	3	4	5	6
Смоляной рак (<i>Cronartium pini</i> (Willd.) Jørst.)	0,9/5,0	0	2,3/2,3	2,9/4,0	0,6/2,0	0
Бугорчатый бактериальный рак (<i>Pseudomonas pini</i> Vuil.)	1,8/2,0	1,2/3,0	1,5/2,0	1,9/2,0	1,3/1,5	0
Стволовая гниль (<i>Porodaedalea pini</i> (Brot.) Murrill)	3,7/2,0	0	3,8/2,2	1,0/2,0	3,8/1,3	0
Сухобочина (пожарные подсушины, механическое травмирование)	10,1/1,4	6,0/2,3	35,9/1,9	26,0/1,7	10,3/1,9	2,8/1,8

Следствием механического травмирования деревьев, в первую очередь расположенных вблизи лесных дорог, а также частичного пирогенного подсушивания и отмирания камбия после низовых пожаров прошлых лет являются сухобочины на стволах. Такое повреждение отмечается в рекреационных сосняках повсеместно, в наиболее нарушенных насаждениях распространенность деревьев с сухобочинами достигает 20–40% (ПП 3 и 4) (табл. 5). Возможное ослабление деревьев обусловлено значительной площадью сухобочин относительно суммарной поверхности ствола дерева и, как следствие, стрессовым для дерева нарушением водопроводящих тканей, особенно в сочетании с другими лимитирующими факторами (оголение и травмирование корней, чрезмерное уплотнение почвы в пределах ризосферы, деятельность насекомых-дендрофагов и др.). Так, наибольшей ослабленностью отличаются сильно травмированные сухобочие деревья (при их сравнительно незначительной распространенности) на пробных площадях 2 и 5.

Накапливающийся в сосняках отпад (усыхающие и усохшие деревья), реже сильно ослабленные деревья заселяются насекомыми-ксилофагами, среди которых доминируют сосновые лубоеды (малый – *Tomicus minor* Hart., большой – *T. piniperda* L.). Вследствие дополнительного (на фазе имаго) питания лубоедов происходит облом проточенных жуками концевых побегов, в итоге – потеря части кроны деревом. По данным учета опавших поврежденных побегов, количество жуков сосновых лубоедов в исследуемых рекреационных насаждениях в пределах от нормального до угрожающего (табл. 6). Повышенная (ПП 2) и тем более угрожающая численность (ПП 3) молодых питающихся жуков является значимым дополнительным фактором первичного ослабления деревьев сосны. Установлена достоверная прямая связь ($p < 0,05$) численности сосновых лубоедов (табл. 7) с

ухудшением состояния сосновых древостоев (средним индексом состояния). Несмотря на вышеотмеченную низкую информативность запаса отпада при оценке состояния сосняков рекреационных территорий, показана значимая связь показателя численности лубоедов с запасом усыхающих и погибших деревьев (табл. 7), *необходимых для отрождения и питания личинок и появления молодых поколений жуков.*

Заключение

Сосновые насаждения в подтаежных пригородных лесах г. Красноярска весьма привлекательны и доступны, в связи с чем являются объектами интенсивного рекреационного лесопользования. Следствием многолетних рекреационных нагрузок становится нарушенность (дигрессия) насаждений, которая достигает на отдельных участках стадий IV–V.

Виталитетные спектры древостоев в сосняках характеризуются позитивной правосторонней асимметрией с преобладанием деревьев 1–2 категорий состояния. На фоне многолетних рекреационных нагрузок высокой интенсивности повышена доля деревьев с нарушенной и утраченной жизнеспособностью. Такие тенденции, в конечном итоге приводящие к ухудшению состояния древостоя по мере возрастания рекреационного воздействия, подтверждены результатом корреляционного анализа. Показатель отпада малоинформативен при оценке текущего состояния древостоев в рекреационных насаждениях ввиду эпизодического удаления погибших деревьев. Информативен запас деревьев 1-й категории состояния (без признаков ослабления), на что указывает статистический анализ взаимосвязи показателей санитарного состояния древостоев.

Выявленные инфекционные болезни (смоляной рак, бугорчатый рак, стволовая гниль) распространены в сосняках незначительно (до 4%) и не оказывают значимого влияния на состояние эдификатора. Для

**Результаты учета лубоедов р. *Tomicus* (Coleoptera: Curculionidae)
по интенсивности дополнительного питания**

ПП	Среднее число опавших побегов, шт./м ²	Ориентировочная оценка численности лубоедов*	
		Численность молодого поколения жуков	Запас жуков на 1 га, тыс. шт.
1	0,7	Нормальная	До 5,0
2	5,3	Повышенная	10,0–20,0
3	12,4	Угрожающая	150,0 и более
4	1,9	Нормальная	До 5,0
5	1,0	Нормальная	До 5,0
6	0,5	Нормальная	До 5,0

* По справочным данным [2].

**Корреляция показателя численности сосновых лубоедов (интенсивность дополнительного питания)
с показателями состояния рекреационных сосняков**

Показатели состояния	Коэффициент корреляции Спирмена	p-уровень
Рекреационная нарушенность	0,771	> 0,05
Запас деревьев 1-й категории состояния	-0,886	< 0,05
Запас отпада	0,812	< 0,05
Средний индекс состояния	0,928	< 0,05

поражаемых деревьев наиболее вредоносен смоляной рак (возбудитель – микромицет *Cronartium pini*), при многолетнем развитии приводящий их к сильному ослаблению и усыханию. Распространенность деревьев с сухобочинами травматического и пирогенного происхождения в среднем составляет 15% (3–36%), при значительной площади оголения ствола дерева ослабевают.

В комплексе насекомых-ксилофагов доминируют сосновые лубоеды (*Tomicus minor*, *T. piniperda*), которые на фазе имаго повреждают кроны живых деревьев. Их численность в сосняках варьирует от нормальной до угрожающей для древостоев. Установлена значимая прямая взаимосвязь численности лубоедов со средним индексом состояния (ухудшением состояния) древостоя и запасом усыхающих и усохших деревьев – объектов накопления молодых поколений жуков.

Для стабилизации санитарного состояния рекреационных сосняков необходимо проведение следующих мероприятий:

- оптимальное рекреационное и противопожарное обустройство лесной территории;
- усиление контроля за соблюдением режима посещения рекреационных насаждений в пожаро-

опасный период, недопущение случаев транспортной бездорожной рекреации;

- уборка заселенных сосновыми лубоедами усыхающих и погибших деревьев до начала вылета молодых поколений жуков, а также аварийных деревьев с удалением порубочных остатков;
- на участках с высокой (угрожающей) численностью популяций сосновых лубоедов целесообразна выкладка «ловчих деревьев».

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

Авторы выражают особую благодарность Красноярскому региональному центру коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН за предоставленное оборудование для обеспечения выполнения проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Дымова ТВ, Чуйкова ЛЮ, Чуйков ЮС. Критерии устойчивости и оценка состояния растительности дельты р. Волги под влиянием антропогенного воздействия. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет»; 2011.
2. Тузов ВК, ред. Методы мониторинга вредителей и болезней леса. Москва: ВНИИЛМ; 2004.
3. Мозолевская ЕГ, Катаев ОА, Соколова ЭС. Методы лесопатологических обследований очагов стволовых вредителей и болезней леса. Москва: Лесная промышленность; 1984.
4. Пак ЛН, Бобринев ВП. Проблемы пригородных лесов и пути улучшения жизни населения города Читы. Известия Самарского НЦ РАН. 2009;1(6):1236-8.
5. Полякова ГА. Рекреация и деградация лесных биогеоценозов. Лесоведение. 1979;(3):70-80.
6. Прилепова ОЮ, Шелуха ВП. Реакция лесного фитоценоза как основа нормирования рекреационной нагрузки на пригородные леса. Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018;3(23):13-24.
7. Рысин ЛП, Абатуров АВ, Маслов АА, Полунина МА, Полякова ГА, Савельева ЛИ, Рысин СЛ. Принципы организации мониторинга состояния городских и пригородных лесов. Лесной вестник. 1999;(2):16-22.
8. Рысин ЛП, Савельева ЛИ, Рысин СЛ. Мониторинг лесов на урбанизированных территориях. Экология. 2004;(4):243-8.
9. Сергеев ГИ. Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство; 1971.
10. Скрипальщикова ЛН, Барченков АП, Гончарова ИА, Пономарева ТВ, Шушпанов АС, Татаринцев АИ. Современное экологическое состояние компонентов сосновых экосистем Красноярской лесостепи. Лесоведение. 2022;(1):61-71.
11. Скрипальщикова ЛН, Татаринцев АИ, Зубарева ОН, Перевозникова ВД, Стасова ВВ, Грешилова НВ. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академическое издательство «Гео»; 2009.
12. Таран ИВ, Спиридонов ВН. Устойчивость рекреационных лесов. Новосибирск: Наука; 1977.
13. Тырченкова ИВ. Особенности санитарного состояния деревьев сосны обыкновенной в пригородных лесах Воронежской области. Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021;(24):159-62.

Общий список литературы / References

1. Dymova TV, Chuykova LYu, Chuykov YuS. Kriterii Ustoichivosti i Otsenka Sostoianiya Rastitelnosti Delyty r. Volgi pod Vliyanyem Antropogennogo Vozdeystviya. [Sustainability Criteria and the Assessment of Vegetation Condition of Volga River Delta under Anthropogenic Impact]. Astrakhan: Astrakhanskiy Universitet; 2011. (In Russ.)
2. Tuzov VK, ed. Metody Monitoringa Vrediteley i Bolezney Lesa. [Methods of Forest Pests and Diseases Monitoring]. Moscow: VNIILM; 2004. (In Russ.)
3. Mozolevskaya YeG, Katayev OA, Sokolova ES. Metody Lesopatologicheskikh Obsledovaniy Ochagov Stvolovykh Vrediteley i Bolezney Lesa. [Forest Pathology Methods for Assessment of Foci of Stem Pests and Forest Diseases]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1984. (In Russ.)
4. Pak LN, Bobrinev VP. [Problems of suburban forests and approaches to improving the living standards in Chita]. Izvestiya Samarskogo NTs RAN. 2009;1(6):1236-8. (In Russ.)
5. Poliakova GA. [Recreation and degradation of forest biogeocenoses]. Lesovedeniye. 1979;(3):70-80. (In Russ.)
6. Prilepova OYu, Shelukho VP. [The response of forest phytocenosis as a basis for setting the norms of load on suburban forests]. Biosfernaya Sovmestimost Chelovek Region Tekhnologii. 2018;3(23):13-24. (In Russ.)
7. Rysin LP, Abaturov AV, Maslov AA, Polunina MA, Poliakova GA, Savelyeva LI, Rysin SL. Printsipy Organizatsii Monitoringa Sostoianiya Gorodskikh i Prigorodnykh ILsov. [Organization Principles of Monitoring the State of Urban and Suburban Forests]. Lesnoy Vestnik 1999;(2):16-22. (In Russ.)
8. Rysin LP, Savelyeva LI, Rysin SL. [Monitoring of forests in urbanized areas]. Ekologiya. 2004;(4):243-8. (In Russ.)
9. Sergeyev GI. Ostrovnye Lesostepi i Podtayga Priyeniseyskoy Sibiri. [Island Forest-Steppes and Sub-Taiga of Yenisei Siberia]. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoye Knizhnoye Izdatelstvo; 1971. (In Russ.)
10. Skripalshchikova LN, Barchenkov AP, Goncharova IA, Ponomareva TV, Shushpanov AS, Tatarintsev AI. [The current ecological state of the components of pine ecosystems of the Krasnoyarsk forest-steppe]. Lesovedeniye. 2022;(1):61-71. (In Russ.)
11. Skripalshchikova LN, Tatarintsev AI, Zubareva ON, Perevoznikova VD, Stasova VV, Greshilova

- NV. *Ekologicheskoye Sostoyaniye Prigorodnykh Lesov Krasnoyarska*. [Ecological State of Suburban Forests of Krasnoyarsk]. Novosibirsk: Geo; 2009. (In Russ.)
12. Taran IV, Spiridonov VN. *Ustoychivost Rekreatsionnykh Lesov*. [Sustainability of Recreational Forests]. Novosibirsk: Nauka; 1977. (In Russ.)
 13. Tyrchenkova IV. [The sanitary condition of Scots pine trees in suburban forests of the Voronezh region]. *Plodovodstvo Semenovodstvo Introduktsiya Drevesnykh Rasteniy*. 2021;(24):159-62. (In Russ.)
 14. Brown Jr. JH, Kallsz SP, Wright WR. Effects of recreational use on forested sites. *Environ Manag*. 1977;(1):425-31.
 15. Dudek T. Recreational potential as an indicator of accessibility control in protected mountain forest areas. *J Mount Sci*. 2017;(14):1419-27.
 16. Kukarskih VV, Devi NM, Bubnov MO, Agafonov LI. Recreation and radial growth of pine forests of the Natural Monument "Lake Turgoyak", Southern Urals. *Russ J Ecol*. 2022;(53):169-80.
 17. Kuznetsov VA, Ryzhova IM, Stoma GV. Transformation of forest ecosystems in Moscow megapolis under recreational impacts. *Eurasian Soil Sci*. 2019;(52):584-92.
 18. Nylund L, Nylund M, Kellomaki S, Haapanen A. Radial growth of Scots pine at some camping sites in Southern Finland. *Silva Fennica*. 1980;14(1):1-13.
 19. Pustovalova LA, Veselkin DV. Rapid changes in plant communities of natural parks due to recreational use. *Russ J Ecol*. 2020;(51):399-407.
 20. Riccioli F, Marone E, Boncinelli F, Tattoni C, Rocchini D, Fratini R. The recreational value of forests under different management systems. *New Forests*. 2019;(50):345-60.



ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ СПУСТЯ И К 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ В РАБОТАХ С.С. ШВАРЦА

Г.С. Розенберг*

Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального
исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия

* E-mail: genarozenberg@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 31.10.2023; принята к печати 13.12.2023

Фундаментальная (теоретическая) экология – одно из наиболее востребованных в мире, включая Россию, направлений науки. Современное состояние решения проблем теоретической экологии рассмотрено на примерах задач, предсказанных академиком С.С. Шварцем 50 лет тому назад, и ста вопросов, сформулированных членами Британского экологического общества для поиска ответов на них в XXI веке. Приводятся примеры развития представлений С.С. Шварца в области популяционной и эволюционной экологии. Уточняются некоторые его теоретические построения (в частности, «экологическое правило Шварца») и предлагается собственное видение путей развития теоретической экологии в ближайшие десятилетия.

Ключевые слова: теоретические проблемы экологии, популяции, экосистемы, разнообразие, эволюция.

FIFTY YEARS AGO, AND TOWARDS THE 300TH JUBILEE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: THEORETICAL ECOLOGY IN WORKS BY S.S. SHVARTS

G.S. Rozenberg*

Institute of Ecology of the Volga Basin, Togliatti, Russia

* E-mail: genarozenberg@yandex.ru

Fundamental (theoretical) ecology is one of the most demanded areas of science in the world, including Russia. The current state of solving the problems of theoretical ecology is considered based on predictions made by Academician S.S. Shvartz 50 years ago and on 100 questions to be answered in the 21st, which were formulated by members of the British Ecological Society. Examples of population and evolutionary ecology advances contributed to by S.S. Shvartz are delineated. Some of his theoretical constructs are clarified (in particular, the “ecological Schwartz rule”) and the original view on the development of theoretical ecology in the coming decades is addressed.

Keywords: theoretical problems of ecology, populations, ecosystems, diversity, evolution.

Взаимоотношение человека с породившей его природой, взаимоотношение биосферы со сферой разума и труда ноосферой – становится одной из наиболее важных и трудно разрешимых проблем человечества.

Академик С.С. Шварц. Доклад на юбилейной сессии Академии наук СССР, посвященной 250-летию АН СССР [84, с. 1]

Введение

«Кто из нас не хотел бы приоткрыть завесу, за которой скрыто наше будущее, чтобы хоть одним взглядом проникнуть в предстоящие успехи нашего знания и тайны его развития в ближайшие столетия? <...> История учит, что развитие науки протекает непрерывно. Мы знаем, что каждый век имеет свои

проблемы, которые последующая эпоха или решает, или отодвигает в сторону как бесплодные, чтобы заменить их новыми. <...> Ведь большие даты не только заставляют нас оглянуться на прошедшее, но и направляют нашу мысль в неизвестное будущее» [17, с. 13]. Именно этими словами начал свое выступление на II Международном Конгрессе математиков в

Париже (8–10 августа 1900 г.) немецкий математик-универсал Д. Гильберт и сформулировал знаменитый список из 23 нерешенных проблем математики, послуживший указателем приложения усилий ученых на протяжении всего XX века (сегодня большинство из этих проблем уже решены). 30-летнюю глубину прогноза использовал академик В.Л. Гинзбург [19, 20] для ответа на вопрос: **какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?** Преуспели в такого рода постановках задач и экологи.

В 2023 году исполнилось 110 лет со дня образования в Великобритании первого в мире (а потому – старейшего) **Британского экологического общества** (British Ecological Society [BES]); отмечая еще 100-летний юбилей BES, «англоговорящие» экологи сформулировали 100 основных вопросов, на которые должна дать ответы экология XXI века [66, 91]. Характеристике современного облика экологии с позиций естественной истории посвящена и статья А.М. Гилярова. Анализируя «жизненный путь» экологии, он подчеркивает [18, с. 244], что «старая экология» была ориентирована «прежде всего, на описание множества разных объектов живой природы», тогда как «новая экология» нацелена «на выявление неких базовых принципов устройства и функционирования живой природы». Другими словами, первая искала (ищет) разнообразие, или уникальность, тогда как вторая – однообразие, или универсальность.

Но почти на 50 лет раньше с прогнозом решения некоторых проблем теоретической экологии выступил академик С.С. Шварц [77–84, 90], которого с полным правом можно назвать провозвестником популяционно-экологического мышления [5]. Об этих проблемах он размышлял на протяжении всей своей научной деятельности, но четко сформулировал их, готовясь к докладу на юбилейной сессии Академии наук СССР, посвященной 250-летию АН СССР [80–83]. Сегодня мы находимся на рубеже 300-летия Российской академии наук, что дает нам возможность проследить некоторые тенденции в развитии академической экологии. Время – беспристрастный судья, позволяющий увидеть в историческом аспекте всю сложность и противоречивость рождения и борьбы различных научных концепций.

Современное состояние дел в решении проблем теоретической экологии

Сопоставим некоторые проблемы фундаментальной (теоретической) экологии по Шварцу [84] и по работе коллег из BES [66, 91], представленные в табл. 1, что позволит проследить, как менялись приоритеты в экологических исследованиях и как развивалась (будет развиваться) экологическая мысль в дальнейшем.



Академик Станислав Семенович Шварц (1919–1976)

Интересен и такой факт. Еще в 1973 году С.С. Шварц [80, с. 22–25] сформулировал несколько экологических проблем, изучению которых «целесообразно уделить максимальное внимание». В частности, он с позиций эволюционной экологии пришел к оригинальной схеме видообразования (точнее, предложил механизм адаптации видов к экстремальным условиям среды [4]), которую польский эколог К. Петрусевич [55, с. 11] предложил называть «экологическим правилом Шварца». Рассмотрим эти задачи и степень их решения (см. табл. 2).

Анализ табл. 2 позволяет заключить, что первые 6 задач – это проблемы популяционной экологии. И здесь прогнозы С.С. Шварца воплощены в жизнь достаточно полно (по каждому из них есть литература), но на уровне общих тенденций. При этом главная задача – создание развернутой экологической теории, основным содержанием которой явится синтез идей популяционной экологии и биоценологии, – так и не решена. Все это позволило В.Н. Большакову [5, с. 86] так завершить статью к 100-летию юбилею С.С. Шварца: «К сожалению, и в наше время управление эволюцией все еще остается прекрасной, но так и не сбывшейся мечтой ученого-эколога, осуществление которой остается следующим поколениям ученых».

Направления решений некоторых проблем теоретической экологии на длительную перспективу

В задачи настоящей работы не входит критическое обсуждение всех вопросов-проблем экологии, представленных в табл. 1 и 2; основная ее цель – привлечь внимание отечественных экологов к такого рода прогнозам развития «нашей науки» и, может быть, попытаться в дальнейшем уточнить (скорректировать) эти списки. Как нам представляется, эти проблемы хорошо отражают сам процесс становления экологии [61, 64, 68]. С конца XX века и по сегодняшний день (современный этап развития экологии) особый интерес представляют вопросы, связанные с понятием «масштаба», масштабированием и влиянием размера (например, вопросы 12, 43 и некоторые другие из списков BES и С.С. Шварца), которые затрагивают широкий спектр тем от популяционной динамики и эволюции до практических аспектов мониторинга. Здесь рассмотрим только три проблемы, обозначенные в вышеперечисленных публикациях, которые продолжают оставаться актуальными, требуют дополнительных исследований и новых теоретических построений.

Экологическое правило Шварца (эволюционная экология). Развивая более полвека назад представления об эволюционной экологии, С.С. Шварц наметил широкий круг задач и путей исследования, которые во многом актуальны и сегодня [8]. Особо хочется отметить необходимость интенсификации исследований в области эволюционной синэкологии (синэкологической эволюции). Следует ожидать, что именно эта новая наука «будет нацелена на изучение и моделирование коэволюции сообществ, выяснение механизмов симпатрического формообразования и прогнозирование быстрых перестроек популяций и сообществ» [8, с. 97]. Особенно это важно для определения оптимального соотношения интересов биосферы и человечества, так как продолжает бытовать мнение о коэволюции природы и общества (эту концепцию выдвигали и пропагандировали Н.В. Тимофеев-Ресовский [74], Н.Н. Моисеев [51, 52] и др.). На наш взгляд, ошибочность такой интерпретации очевидна. Коэволюция – это не параллельное развитие, а прежде всего взаимная адаптация. В этом случае коадаптировать (коэволюционировать) могут только виды разных трофических уровней (хозяин – паразит, хищник – жертва). В ходе таким образом представленной эволюции происходят дифференциация экологических ниш и плотная упаковка видов сообщества в эти ниши. Человечество, наконец, пришло к выводу, что оно должно соизмерять свою деятельность с законами природы, чтобы сохраниться как вид. Это еще можно назвать адаптацией. Но никаких признаков

адаптации Природы к человеческой деятельности просто нет. Единственный ответ ее – деградация. Даже при большом желании разрушение невозможно превратить в эволюцию. Следует учитывать и еще один немаловажный факт. Антропогенные системы имеют примитивную структуру, устойчивость их по сравнению с естественными – мала. Без постоянной заботы человека они в лучшем случае замещаются естественными ценозами (например, «поглощение» железной дороги через бразильскую сельву). Речь идет, конечно, не об эволюционном переходе биосферы в новое качественное состояние, а о замещении биосферы техносферой [27, 37, 68].

Как известно (см., например, [22]), процесс образования новых видов происходит в результате взаимодействия целого ряда элементарных эволюционных факторов (мутации, дрейф генов, естественный отбор, изоляция и др.). Выше уже отмечалось, что С.С. Шварц с позиций эволюционной экологии пришел к оригинальной схеме видообразования, которая явно отличалась от представлений неodarвинизма середины XX века [4, 5, 55, 77, 80, 81, 84, 90]: развитие популяции (группы популяций) в своеобразной среде – возникновение необходимых морфофизиологических особенностей, изменяющих отношение популяции к среде, – прогрессирующее приспособление, развитие тканевых адаптаций – репродуктивная изоляция на основе тканевой несовместимости – видообразование [84, с. 73]. Эту схему было предложено называть «экологическим правилом Шварца» [55, с. 11], а сам Шварц считал, что «вопрос “вид – не вид” решается на экологическом, а не на физиологическом или генетическом уровне» [79, с. 15], и даже более категорично, – «виды не потому виды, что они не скрещиваются, а они потому не скрещиваются, что они виды» [77, с. 49; 84, с. 72–73]. Экологическое правило Шварца формулируется так: «правило, согласно которому видообразование является отчетливым этапом адаптации формирования нового, энергетически более экономного приспособления, вследствие чего специализированные виды приспособлены лучше, чем специализированные внутривидовые формы. Экологическое правило Шварца основано на теоретическом принципе, согласно которому каждое изменение условий существования непосредственно или косвенно вызывает соответствующие изменения способов реализации энергетического баланса организма» [29, с. 393]. Фактически, правило является развитием индивидуалистической гипотезы Раменского–Глизна [49, с. 39–40; 68, с. 265] и потому, прежде всего, воспринимается не как одна из «теоретических конструкций» видообразования, а как механизм адаптации специализированных видов и популяций

Проблемы теоретической экологии, требующие своего решения

С.С. Шварц	BES*
Появление в процессе эволюции организмов, характеризующихся принципиально новым типом взаимоотношений со средой (рыбы, насекомые, рептилии, травянистые растения и т. п.), имели следствием преобразование структуры биосферы и ее функции. Было бы крайне заманчиво внимательно проанализировать глобальные следствия появления новых групп организмов, знаменующих собой становление ароморфозов принципиального значения [83, с. 4].	1. Каковы эволюционные последствия того, что виды становятся менее связанными из-за фрагментации либо более связанными из-за глобализации? 44. Как потеря вида влияет на риск вымирания оставшихся видов? 47. В какой степени локальная видовая структура и разнообразие контролируются ограничением, распространением и региональным пулом видов?
Расшифровка химического кода индивидуального развития организмов явилась крупнейшим открытием науки нашего времени. Есть основания полагать, что овладение кодом, управляющим жизнью популяций (а следовательно, и биоценозов), явится не меньшим научным событием, практическое значение которого трудно переоценить [83, с. 19].	12. Как мы можем масштабировать детальные процессы уровня организмов на уровень популяции? 25. Насколько важна индивидуальная изменчивость для динамики популяций, сообществ и экосистем?
Изменяя химический фон, мы в лаборатории уже можем изменять скорость роста и развития животных, добиться существенных изменений в их физиологии, изменять генетический состав природных популяций, решать исход борьбы конкурирующих видов [83, с. 18].	19. Как стохастичность среды и изменения среды взаимодействуют с зависимостью от плотности при формировании динамики популяций и распределений видов? 57. Каковы функциональные следствия аллелопатии в природных сообществах растений?
Наиболее общий закон развития организмов – их неразрывная связь с внешней средой. Чем точнее реагирует животное на изменения внешней среды – тем выше его шансы в борьбе за жизнь [83, с. 10].	72. Возможно ли предсказание ответа экосистем на изменения среды на основании признаков видов?
Первая линия обороны биосферы от возможных нарушений ее развития заключается, как говорят экологи, в организованной разнородности [83, с. 8].	43. Как влияет пространственная и временная гетерогенность среды на разнообразие различных масштабов?
Почему природа сумела создать столь сверхсовершенный инструмент, как человеческий мозг, но удовлетворилась созданием сообществ, работающих с ничтожным КПД? Ответ напрашивается сам собой: соотношение эффективности использования энергии на разных уровнях интеграции жизни гарантирует сохранение ее первоосновы – способных к репродукции организмов [83, с. 9–10].	63. Каков относительный вклад биоразнообразия различных уровней организации (гены, видовое богатство, видовая идентичность, функциональная идентичность, функциональное разнообразие) в функционирование экосистем?
Системные свойства популяции в значительной степени влияют на морфофизиологические особенности животных, что в свою очередь, по принципу обратной связи, отражается на свойствах системы [80, с. 22–23].	100. Как обратные связи между поведением человека и экологической динамикой могут быть объяснены в рамках экологических моделей?
Изучение экологических механизмов поддержания генетической разнородности популяции – важнейшая задача эволюционной экологии [81, с. 56].	11. Какие эволюционные и экологические механизмы определяют границы видовых ареалов?

* Цифрами во втором столбце обозначены номера экологических проблем по [66, 91].

Проблемы теоретической экологии, сформулированные С.С. Шварцем, и их решение

С.С. Шварц [80–83] (в скобках курсивом – задачи BES [91])	Некоторые комментарии
Конкретизация установленных ранее экологических закономерностей применительно к отдельным видам и группам животных.	В решении этой задачи достигнуты значительные успехи [21, 25, 26, 38, 71, 73 и мн. др.].
Углубленное изучение динамики экологической структуры популяций разных видов в разных условиях среды.	Задача в известной степени дублирует предыдущую. В ее решении также достигнуты заметные успехи.
Определение потенциального «экологического резерва» популяций разных видов в разных условиях среды.	«Каждая популяция животных имеет так называемый <i>экологический резерв</i> , то есть возможен рост ее продуктивности в результате увеличения численности потомства и повышения его выживаемости» [47, с. 138]. Продуктивность и выживаемость популяций в зависимости от экологических факторов достаточно активно изучается. Однако в терминах «экологического резерва» эти параметры рассматриваются редко.
Изучение географической изменчивости экологических особенностей важнейших видов животных разных таксономических групп (<i>13. Как взаимодействуют признаки видов и популяций и конфигурация ландшафта при определении реализованных расстояний распространения?</i>).	С XIX в. были уже известны (см., например, [35, 68]) правила Аллена, Бергмана, Глогера, позже – принцип Лэка (изменение числа яиц в кладке с увеличением широты [43]; такого рода исследования продолжаются [69 и др.]), правило Томсона–Бакстона [92] (зависимость ширины носа от климата) и пр. Некоторые теоретические аспекты этой проблемы отражены в работах [30, 39, 76, 84 и др.]. Можно констатировать, что такого рода исследования ведутся достаточно активно.
Изменчивость динамики численности и основных проявлений динамики структуры популяций (<i>25. Насколько важна индивидуальная изменчивость для динамики популяций, сообществ и экосистем?</i>).	Эта задача деятельно решается в рамках «математической экологии» [28, 32, 58, 64, 75, 86 и мн. др.], что позволяет «протестировать» различные механизмы изменчивости численности и динамики структуры популяций. Сегодня особый интерес представляют методы фрактальной геометрии, которые позволяют учесть неоднородность в пространстве и времени [12, 15, 66, 93].
Изучение метаболической регуляции популяционных явлений и процессов и разработка принципиально новых методов регуляции численности животных в природе (<i>65. Как структура сетей экологических взаимодействий влияет на функционирование и стабильность экосистем?</i>).	Поток метаболитов в обмене веществ определяет жизнеспособность как отдельного организма, так и популяции (через процессы активной регуляции плодовитости и смертности) и экосистемы в целом. На этот поток оказывают влияние как абиотические факторы среды, так и взаимоотношения между живыми организмами в сообществе, то есть биотические факторы. Иными словами, любое экологическое исследование может рассматриваться в терминах «регуляции метаболитов». Так, например, достаточно хорошо изучено явление аллелопатии для растительных экосистем [23, 46, 56 и др.]. Не хуже обстоит дело и с решением вопросов влияния метаболитов на популяции животных и экосистемы (укажем на теоретические работы самого С.С. Шварца [24, 78], принцип Гаузе, цикл монографий по экотоксикологии [1, 14, 16] или (в данном контексте «частное» исследование) влияние метаболитов бурой водоросли на развитие морского ежа [36] и др.).
Изучение экологии урбанизированных биогеоценозов. Исследуются биогеоценозы, развивающиеся под влиянием различных форм антропогенного воздействия на фоне различных физико-географических условий, и на этой основе устанавливаются предельно допустимые нормы антропогенного воздействия разного характера в пределах разных биомов.	В настоящее время задача нормирования воздействий на экосистемы, являясь ключевой проблемой взаимодействия в системе «Природа–Человек», все больше привлекает внимание исследователей [2, 13, 40, 45, 53, 67, 70]. <i>Экологическое нормирование</i> предполагает учет так называемой <i>предельно допустимой нагрузки</i> на экосистему. Последняя крайне сложна в определении (как вербальном, так и количественном). Поэтому сегодня известны лишь некоторые попытки обоснования «экологических ПДК» [40, 42, 70] для растений суши и для сообществ водоемов рыбохозяйственного назначения.

Продолжение на стр. 363

С.С. Шварц [80–83] (в скобках курсивом – задачи BES [91])		Некоторые комментарии	
Изучение обратного влияния изменения природной среды на человека и общество. Составление эколого-экономических характеристик крупных регионов.		Изучение социо-эколого-экономических систем (СЭЭС) активно развивается последние 25–30 лет [3, 62, 87, 88].	
Конструирование идеальной схемы развития биогеоценологического покрова единого экономико-географического района.	Задача инженерной экологии – известны решения в масштабах небольших территорий и по отношению к отдельным факторам воздействия (явно не «идеальная схема»); например, конструирование устойчивых травосмесей [48] или оптимизация животноводческой нагрузки для Волжского бассейна [50, 62].		
Конструирование идеальной схемы гармоничного развития природы и экономики единых географических систем.		Близко к предыдущей задаче; успехов в ее решении также мало.	
Разработка генеральной схемы оптимального развития экономики края – развития, сопровождающегося оптимизацией его биогеоценологического покрова [82].	Теоретические разработки такого рода эколого-экономических схем развития существуют, а вот практической их реализации (тем более с оптимизацией) нам не известно.		

широко распространенных видов к экстремальным условиям среды [4]. Отсюда следует, что «сформулированная С.С. Шварцем закономерность, которая по предложению польского академика К. Петрусевича была возведена в ранг “экологического правила Шварца”, получила подтверждение в многолетних исследованиях адаптаций млекопитающих горных районов и Крайнего Севера, что имеет существенное значение для развития современных представлений об экологических механизмах эволюции. В то же время это правило неприменимо для холоднокровных позвоночных, поэтому в целом его целесообразно вслед за В.И. Вернадским воспринимать как эмпирическое обобщение» [4, с. 8].

Таким образом, экологизация процесса восприятия эволюции требует дополнительных исследований и обобщений, так как, «говоря о науке обычно – особенно люди, сторонники ей, – забывают о том, что составляет ее основное содержание, основы научного искания – научные факты и построенные на них эмпирические обобщения» [10, с. 19; 11, с. 8]. Все это заставляет считать, что данные исследования должны быть продолжены как для конкретизации, так и дальнейшего обобщения представлений эволюционной экологии [6, 9].

Фрактальная организация структуры и динамики экосистем. Успехи, достигнутые физиками XX века, обусловили не только проникновение в биологию математических и физико-химических методов исследования объектов различных уровней биологической иерархии, но и определенное «навязывание» физического «образа мышления» при

постановке и решении различных биологических задач (см. [63, 64 и др.]). Многочисленные исследования в этом направлении наложили серьезный отпечаток на современную биологию и экологию. Таким образом, обращение к «фрактальной парадигме строения природы» [44] – естественный этап и важное направление в развитии представлений об окружающем мире (структуре и динамике экологических сообществ в том числе). Хотя скептики достаточно обосновано считают, что фракталы являются все же упрощенной моделью реальности (правда, применимой к достаточно широкому, но, тем не менее, ограниченному кругу предметов и явлений), фрактальная парадигма уже сыграла и продолжает играть конструктивную роль в естествознании [15, 33, 64].

Реализация принципа самоподобия в исследовании видовой, пространственной и временной структур биотических сообществ позволила вскрыть фрактальную природу их организации, как открытых систем, далеких от равновесия, в которых характерные времена внутренней динамики существенно уступают интервалам изменения внешних условий. Именно наличие резкого контраста между быстрыми диссипативными процессами внутри сложной системы и медленными изменениями внешней энергетической накачки является необходимым условием возникновения фрактальной динамики [12, 66]. В настоящее время явления такого рода объединены общим наименованием систем с самоорганизованной критичностью (self-organized criticality) [85], которая представляет новый подход к анализу сложного поведения нелинейных распределенных

систем. Ценность концепции самоорганизованной критичности для экологии заключается в том, что повсеместно встречающиеся в природе фракталы предлагается рассматривать как мгновенные «срезы» самоорганизованных критических процессов. Развитие этой концепции находит свое отражение в различных математических моделях, в том числе модели нелинейной демографической динамики, представлении об экосистеме как о «странном аттракторе» и пр. [64, 89].

Теоретические аспекты биоразнообразия. Биоразнообразие не случайно называют фактором фундаментальной важности для выживания человеческого общества [54]. Мы начали статью с цитаты С.С. Шварца из выступления на юбилейной сессии Академии наук СССР, посвященной 250-летию АН СССР. В этом же докладе он обозначил и еще одну важную проблему теоретической экологии – «первая линия обороны биосферы от возможных нарушений ее развития заключается, как говорят экологи, в организованной разнородности» [84, с. 8]. Действительно, биоразнообразие «прямо влияет на состояние экосистем: его сокращение отрицательно сказывается на их структуре и функциональных связях, приводит к изменениям в биотических сообществах или даже к их разрушению. Это в свою очередь ведет к изменениям ландшафтов, а со временем, возможно, к изменениям климата» [31, с. 5]. У писателя-фантаста Рэя Бредбери есть интересный рассказ «И грянул гром (A Sound of Thunder)». Там любитель-охотник отправился в мезозойскую эру, чтобы убить тираннозавра. Он случайно наступает на бабочку, а в его мире резко всё меняется, даже президент стал другой (баттерфляй-эффект в чистом виде...). Современные темпы сокращения числа видов в сообществах во много раз превышают скорость исчезновения видов в естественных условиях [72]. Поэтому разработка теоретических основ сохранения биоразнообразия – это вопрос не только целостности видов и экосистем, но и сохранности тех условий окружающей природной среды, которые обеспечивают нормальную жизнедеятельность человека.

Экологи ВЕС [66, 91] проблемы биоразнообразия выделили в отдельный раздел (20 вопросов), среди которых продолжают оставаться мало разработанными такие:

- как влияет пространственная и временная гетерогенность среды на разнообразие различных масштабов? (вопрос 43);
- какова относительная важность стохастических и детерминированных процессов в контроле разнообразия и структуры сообществ, и как она варьирует в экосистемах различных типов? (вопрос 45);
- в какой степени разнообразие первичных продуцентов определяет разнообразие всего сообщества? (вопрос 49);

- насколько важны редкие виды для функционирования экологических сообществ? (вопрос 55).

Несомненный интерес представляет оценка экосистемных услуг от биоразнообразия. Эта проблема действительно является междисциплинарной и весьма актуальной [3, 59, 60, 87, 88], так как оказание экосистемных услуг тесно связано с биологическим разнообразием, которое выступает здесь как один из важнейших средообразующих ресурсов, обеспечивающих возможность устойчивого развития социо-эколого-экономических систем.

Заключение

Экологизация науки и человеческого общества, которая активизировалась в XXI веке, невозможна без повышения уровня общей экологической культуры [34, 65]. Как справедливо отмечал культуролог и литературовед Ю.М. Лотман [41, с. 46], «наука и искусство – это как бы два глаза человеческой культуры. Именно их различие (и равноправие) создает объемность нашего знания». Кстати, разработка теоретических основ экологической культурологии – это еще одно важное направление исследований на ближайшую перспективу. Приведем еще одну цитату из интересной работы [57, с. 149], которая опирается на материалы анкетного опроса специалистов-экологов: «Почти половина (42%) респондентов считают, что экология должна заниматься в равной степени фундаментальными теоретическими вопросами (структура и функционирование экосистем, демография популяций) и прикладными задачами, связанными с сохранением биоразнообразия и защитой окружающей среды в целом. Один из респондентов дает комментарий о том, что без фундаментальных исследований “ничего не получалось и не получится”». Подчеркнем, что сходные мысли высказывались и ранее (см., например, [7]).

Проведенный выше анализ, естественно, не претендует на полную категоричность, но оставляет надежду, что сможет стимулировать дискуссии и новые захватывающие исследования. Кроме того, напомним, что на могиле Д. Гильберта (цитатой которого мы начали свою работу) в Гёттингене (Германия) высечен его любимый афоризм: «Wir müssen wissen. Wir werden wissen – Мы должны знать. Мы будем знать» [66, с. 381].

Благодарности. Автор благодарен академику В.Н. Большакову за консультации и обсуждение некоторых проблем, затронутых в статье. Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук согласно тематическому плану Института экологии Волжского бассейна РАН.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Безель ВС, Большаков ВН, Воробейчик ЕЛ. Популяционная экотоксикология. М.: Наука, 1994.
2. Безель ВС, Кряжимский ФС, Семириков ЛФ, Смирнов НИ. Экологическое нормирование антропогенной нагрузки. Общие подходы. Экология. 1992(6):3-10.
3. Бобылев СН, Захаров ВМ. Экосистемные услуги и экономика. М.: ООО «Типография ЛЕВКО»; Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009.
4. Большаков ВН. «Экологическое правило Шварца» – взгляд через десятилетия. Принципы экологии (научный электронный журнал). 2019(3):4-11.
5. Большаков ВН. Академик Станислав Семенович Шварц как провозвестник популяционно-экологического мышления. Экология. 2019(2):83-7.
6. Большаков ВН, Качак ВВ, Коберниченко ВГ и др. Экология. Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Логос; 2005.
7. Большаков ВН, Криницин СВ, Кряжимский ФВ, Мартинес Рика ХП. Проблемы восприятия современным обществом основных понятий экологической науки. Экология. 1996(3):165-70.
8. Васильев АГ. Эволюционная экология в XXI веке: новые концепции и перспективы развития. Экология. 2019(2):88-100.
9. Васильев АГ, Большаков ВН. Взгляд на эволюционную экологию вчера и сегодня. Экология. 1994(3):4-15.
10. Вернадский ВИ. Биосфера. Л.: Науч. хим.-технол. изд-во, 1926.
11. Вернадский ВИ. Гёте как натуралист: (Мысли и замечания). Бюлл. МОИП. Нов. сер. Отд. геол. 1946;21(1):5-52.
12. Волов ВТ. Фрактально-кластерный подход к описанию фундаментальных закономерностей развития биологических организмов. Изв. Самар. НЦ РАН. 2018;20(5(2)):204-13.
13. Воробейчик ЕЛ, Садыков ОФ, Фарафонов МГ. Экологическое нормирование техногенных загрязнений. Екатеринбург: Наука, 1994.
14. Гелашвили ДБ, Безель ВС, Романова ЕБ, Безруков МЕ, Силкин АА, Нижегородцев АА. Принципы и методы экологической токсикологии. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016.
15. Гелашвили ДБ, Иудин ДИ, Розенберг ГС, Якимов ВН, Солнцев ЛА. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та; 2013.
16. Гелашвили ДБ, Крылов ВН, Романова ЕБ. Зоотоксинология: биоэкологические и биомедицинские аспекты. Учебное пособие. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2015.
17. Гильберт Д. Математические проблемы. Доклад, прочитанный 8 августа 1900 г. на II Международном Конгрессе математиков в Париже. Проблемы Гильберта. М.: Наука; 1969. С. 11-64.
18. Гиляров АМ. Современная экология под углом естественной истории. Журн. общ. биол. 2013;74(4):243-52.
19. Гинзбург ВЛ. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными? Успехи физ. наук. 1971;103(1):87-119.
20. Гинзбург ВЛ. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными (тридцать лет спустя, причем уже на пороге XXI века)? Успехи физ. наук. 1999;169(4):419-41.
21. Глушков ВМ. Лось. Экология и управление популяциями. Киров: ВНИИОЗ; 2001.
22. Грант В. Видообразование у растений. М.: Мир; 1984.
23. Гродзинский АМ. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: Основы химического взаимодействия растений. Киев: Наукова думка; 1965.
24. Данилов НН, Шварц СС. О биологических микросистемах. Наука и человечество. 1975. Сборник. М.: Знание; 1974. С. 127-45.
25. Данилов ПИ. Охотничьи звери Карелии: экология, ресурсы, управление, охрана. М.: Наука; 2005.
26. Данилов ПИ, Тирронен КФ, Белкин КФ, Панченко ДВ, Фёдоров ФВ. Бурый медведь и оценка его численности в европейской тайге. Петрозаводск: ПетроПресс; 2014.
27. Данилов-Данильян ВИ. Возможна ли «козволюция природы и общества»? Вопросы философии. 1998(8):15-25.
28. Дегерменджи АГ. Динамика гетерогенной популяции в постоянных и периодически меняющихся условиях среды. Динамика микробных популяций в открытых системах. Красноярск: СО АН СССР; 1975. С. 55-78.
29. Дедю ИИ. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл.; 1989.
30. Долгов ВА. О некоторых закономерностях географической изменчивости млекопитающих. Докл. АН СССР; 1966;171(5):1230-3.

31. Залепухин ВВ. Теоретические аспекты биоразнообразия: Учебное пособие. Волгоград: Изд-во ВолГУ; 2003.
32. Ильичёв ВГ. Дельта-функции и парадоксы конкуренции в периодической среде. Математическое просвещение. 2022;3(29):200-13.
33. Иудин ДИ, Гелашвили ДБ, Розенберг ГС. Мультифрактальный анализ видовой структуры биотических сообществ. Докл. Академии наук (ДАН). 2003;389(2):279-82.
34. Ишков АГ, Рыбальский НГ, Грачев ВА. Экологическая культура. М.: РЭА; 2015.
35. Карташев НН. Систематика птиц. Учеб. пособие для ун-тов. М.: Высш. школа; 1974.
36. Киселева МИ, Звягинцев НВ, Ермакова СП, Звягинцева ТН. Влияние метаболитов бурой водоросли *Saccharina sichorioides* (Miyabe) на пищевые предпочтения, оплодотворение и развитие эмбрионов морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* A. Agassiz, 1863. Биология моря. 2019;45(6):392-403.
37. Краснощеков ГП, Розенберг ГС. К понятию среды обитания. В кн.: Любищевские чтения, 1998. Ульяновск: УлГПУ; 1998. С. 36-9.
38. Кривоуцкий ДА. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука; 1994.
39. Кривоуцкий ДА, Мяло ЕГ, Огурева ГН. География биологического разнообразия. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998(4):81-6.
40. Левич АП, Булгаков НГ, Максимов ВН. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа; 2004.
41. Лотман ЮМ. О природе искусства. Музыкальная психология и психотерапия. 2011(4):46-52.
42. Лукьяненко ВИ. Экологические ПДК и комплексный экологический мониторинг качества вод. Розенберг ГС, Краснощеков ГП. Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования. Тольятти: ИЭВБ РАН; 1996. С. 218-9.
43. Лэк Д. Дарвиновы выюрки. М.: Изд-во иностр. лит-ры; 1949.
44. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: ИКИ; 2002.
45. Мартынюк АА. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения. М.: ВНИИЛМ; 2004.
46. Матвеев НМ. Аллелопатия как фактор экологической среды. Самара: Самар. кн. изд-во; 1994.
47. Медведский ВА, Медведская ТВ. Сельскохозяйственная экология: Учеб. пособие. Витебск: ВГАВМ; 2003.
48. Миркин БМ, Горская ТГ. Теоретические аспекты анализа сукцессий в травосмесях. Биол. науки. 1989(1):7-17.
49. Миркин БМ, Розенберг ГС, Наумова ЛГ. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука; 1989.
50. Миркин БМ, Хазиахметов РМ. О концепции экологически ориентированного управления степной агроэкосистемой. Степной бюл. 2000(8):30-4.
51. Моисеев НН. Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия; 1990.
52. Моисеев НН. Еще раз о проблеме коэволюции. Вопросы философии. 1998(8):26-32.
53. Моисеенко ТИ. Экотоксикологический подход к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Севера. Экология. 1998(6):452-61.
54. Одум Ю. Экология. В 2 т. М.: Мир; 1986. Т. 1. 328 с. Т. 2. 376 с.
55. Петрусевич К. Экологическое правило С.С. Шварца. Экология. 1979(2):8-11.
56. Райс Э. Аллелопатия = Allelopathy. М.: Мир; 1978.
57. Рижинашвили АЛ. Что думают экологи об экологии? Социология науки и технологий. 2021;12(2):143-54.
58. Ризниченко ГЮ. Динамика популяций: учебное пособие для вузов. М.: Изд-во Юрайт; 2023.
59. Розенберг АГ. Природный капитал и экосистемные услуги региона. Тольятти: Кассандра; 2015.
60. Розенберг АГ, Костина НВ, Кудинова ГЭ, Розенберг ГС. Экосистемные услуги как инновационная составляющая устойчивого развития. Энергия: экономика, техника, экология. 2017(4):48-53.
61. Розенберг ГС. О периодизации экологии. Экология. 1992(4):3-19.
62. Розенберг ГС. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра; 2009.
63. Розенберг ГС. Экология и физика: параллели или сети? (в продолжение дискуссии). Биосфера. 2011;3(3):296-303.
64. Розенберг ГС. Введение в теоретическую экологию / В 2 т.; 2-е изд., испр. и доп. Тольятти: Кассандра; 2013. Т. 1. 565 с. Т. 2. 445 с.
65. Розенберг ГС. Вектор экологической культуры (культурология природы). Тольятти: Анна; 2020.
66. Розенберг ГС, Гелашвили ДБ. 100 основных экологических проблем: взгляд из Великобритании. Биосфера. 2013;5(4):375-84.
67. Розенберг ГС, Евланов ИА, Селезнёв ВА, Минеев АК, Селезнёва АВ, Шитиков ВК. Опыт

- экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги). В кн.: Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. М.: Тов-во науч. изд. КМК; 2011. С. 5-29.
68. Розенберг ГС, Мозговой ДП, Гелашвили ДБ. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии (Учебное пособие). Самара: Самар. НЦ РАН; 1999.
 69. Рыжановский ВН, Рябицев ВК, Гилев АВ. Плодовитость воробьеобразных птиц (Passeriformes) приобской лесотундры и полуострова Ямал. Экология. 2019(3):217-25.
 70. Селезнёва АВ. Экологическое нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты. Самара: Самар. НЦ РАН; 2007.
 71. Соколов ВЕ, Иваницкая ЕЮ, Груздев ВВ, Гептнер ВГ. Млекопитающие России и сопредельных регионов. Зайцеобразные. М.: Наука; 1994.
 72. Соколов ВЕ, Чернов ЮИ, Решетников ЮС. Национальная программа России по сохранению биологического разнообразия. Вкн.: Биоразнообразие. Степень таксономической изученности. М.: Наука; 1994. С. 4-12.
 73. Соломонов НГ. Экология водяной полевки в Якутии. Новосибирск: Наука (Сиб. отд-ние); 1980.
 74. Тимофеев-Ресовский НВ. Биосфера и человечество. Науч. труды Обнинского отд. Геогр. о-ва СССР. 1968;1(1):3-12.
 75. Фрисман ЕЯ, Жданова ОЛ. Режимы динамики генетической структуры и численности в моделях эволюции локальной лимитированной популяции // Изв. высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2006;14(1):98-112.
 76. Чернов ЮИ. Природная зональность и животный мир суши. М.: Мысль; 1975.
 77. Шварц СС. Эволюционная экология животных. Экологические механизмы эволюционного процесса. Свердловск: Урал. филиал АН СССР; 1969. (Тр. ИЭРиЖ АН СССР. Вып. 65).
 78. Шварц СС. Метаболическая регуляция роста и развития животных на популяционном и организменном уровнях // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1972(6):822-35.
 79. Шварц СС. Проблема вида и новые методы систематики. В кн.: Экспериментальные исследования проблемы вида. Свердловск: УралНЦ АН СССР; 1973. С. 3-18. (Тр. ИЭРиЖ АН СССР. Вып. 86).
 80. Шварц СС. Теоретические основы и принципы экологии. В кн.: Современные проблемы экологии. (Доклады). М.: Изд-во МГУ; 1973. С. 21-31.
 81. Шварц СС. Эволюционная экология. В кн.: Современные проблемы экологии. (Доклады). М.: Изд-во МГУ; 1973. С. 52-62.
 82. Шварц СС. Проблемы экологии человека. Вопр. философии. 1974(9):102-10.
 83. Шварц СС. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование. М.: АН СССР; 1975. (Шварц СС. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование. Вестн. АН СССР. 1976(2):61-72).
 84. Шварц СС. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука; 1980.
 85. Bak P. How Nature Works: The Science of Self-organized Criticality. N. Y.: Copernicus; Verlag; 1996.
 86. Benton TG. Individual variation and population dynamics: lessons from a simple system. Philos. Trans. Royal Soc. Lond. B Biol. Sci. 2012;367(1586):200-10.
 87. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 1997;387:253-60.
 88. Costanza R, Erickson JD, Farley J, Kubiszewski I. Sustainable Wellbeing Futures: A Research and Action Agenda for Ecological Economics. Cheltenham: Edward Elgar Publ.; 2020.
 89. Renshaw E. Modelling Biological Populations in Space and Time. N. Y.: Cambridge Univ. Press; 1991.
 90. Shvarts SS. The Evolutionary Ecology of Animals. New York; London: Consultants Bureau; 1977.
 91. Sutherland WJ, Freckleton RP, Godfray HChJ. et al. (34 authors). Identification of 100 fundamental ecological questions. J. Ecol. 2013;101(1):58-67.
 92. Thomson A, Buxton LHD. Man's Nasal Index in Relation to Certain Climatic Conditions. J. Royal Anthropological Institute. 1923;53:92-122.
 93. Volov VT. Fractal-cluster theory and its applications for the description of biological organisms. Entropy. 2023;25(10),1433. <https://doi.org/10.3390/e25101433>.

О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ОБРАЗОВАНИЯ, ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ В РАБОТАХ А.Д. УРСУЛА (1936–2020)

Е.В. Грязнова

Нижегородский Государственный педагогический университет имени Козьмы Минина,
Нижний Новгород, Россия

Эл. почта: egik37@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; принята к печати 30.10.2023

Позиция видного российского философа А.Д. Урсула (1936–2020) по вопросам взаимодействия природы, общества и образования представлена в форме рецензии на его написанную в соавторстве с И.В. Ильиным монографию «Образование, общество, природа: Эволюционный подход и глобальные перспективы», опубликованную в 2016 году. В книге представлены результаты многолетних исследований авторов по актуальной сегодня проблеме – тенденции и перспективы развития мирового образования в контексте глобальных процессов и эволюции социоприродных систем – и апробировано применение междисциплинарно-эволюционного подхода к исследованию образования. Само образование понимается как информационный процесс, что позволяет рассматривать его в качестве основы глобального эволюционного развития человека.

Ключевые слова: глобальный эволюционизм, глобальное образование, цивилизация, информация, эволюционный подход.

ON RELATIONSHIPS BETWEEN EDUCATION, SOCIETY, AND NATURE IN WORKS BY A.D. URSUL (1936–2020)

Ye.V. Griaznova

Kozma Minin State Pedagogical University of Nizhniy Novgorod, Russia

Email: egik37@yandex.ru

The attitudes of prominent Russian philosopher A.D. Ursul (1936–2020) concerning relations between nature, society and education are presented in the form of a review of his monograph "Education, Society, and Nature: An Evolutionary Approach and Global Perspectives" published in co-authorship with I.V. Ilyin in 2016. The monograph presents the results of many years of authors' studies related to an increasingly urgent problem: trends of and prospects for the development of worldwide education in the context of global processes and socio-natural systems evolution. An interdisciplinary-evolutionary approach to the study of education is exercised. Education itself is understood as an information process making it possible to regard it as the basis of the global evolutionary development of humankind.

Keywords: global evolutionism, global education, civilization, information, evolutionary approach.

*Аркадию Дмитриевичу Урсулу (1936–2020) –
выдающемуся философу, коллеге и учителю
посвящается*

Прежде всего, следует отметить, что в книге А.Д. Урсула в соавторстве с И.В. Ильиным [3] емко изложены материалы, посвященные проблеме глобального развития цивилизации. Дискуссии по данным вопросам ведутся активно до сих пор, особенно когда речь заходит о цивилизационном развитии России. Каков ее путь? Подчиняется ли наша страна общим тенденциям и законам глобального цивилизационного развития или нет? А.Д. Урсул и В.И. Ильин выстраивают логику решения данного вопроса на основе фундаментальных исследований глобального

эволюционизма. Первая глава их монографии посвящена вопросам эволюции цивилизации и определения в этом процессе места и роли образования. В частности, показано, что образование есть не только причина глобального цивилизационного развития, но и его следствие. Оно отражает основные характерные черты того этапа развития цивилизации, в котором зарождается и развивается. Авторы обосновывают диалектическое взаимодействие природы, общества, науки и образования на всех этапах цивилизационного развития.

При изучении трудов А.Д. Урсула и других авторов, развивающих концепцию информационно-технологического развития глобальной цивилизации, можно заключить, что культура есть проявление специфических свойств жизнедеятельности определенной социальной общности. Нация как наиболее устойчивый тип такой общности в процессе исторического существования и развития формирует свои собственные, свойственные только ей черты выполнения тех или иных видов деятельности, формируя образ жизни. Так, и в Японии, и в Америке, и в России люди, занимаясь одним и тем же видом деятельности, например земледелием, вносят в него именно свои национальные особенности, связанные со спецификой нации и географией ее проживания, при этом не нарушая основных общих принципов этой деятельности. Как справедливо отмечает А.И. Ракитов, каждая национальная культура вносит свои правила поведения, организации труда, общения и деятельности, основой которых является ядро этой культуры [8].

Во второй главе рецензируемой монографии феномен образования раскрывается как информационный процесс. Именно такой подход позволяет авторам раскрыть образование как одно из оснований эволюционного развития человечества. А.Д. Урсул является автором работ, посвященных атрибутивной концепции информации, обоснованию глобального характера данного основания мироздания [9]. Его идеи получили развитие в трудах учеников и единомышленников в рамках научной школы, которую он создал [1, 5, 12].

Следующий этап исследования заключается в обосновании диалектической взаимосвязи науки и образования на протяжении всей истории мировой цивилизации. Авторы показывают, что информационная природа и науки, и образования как способов познания и освоения человеком мира является основанием эволюционного развития мировой цивилизации и ее движения к ноосферной модели. В современных условиях эволюционного развития эти две составляющие культуры интегрируются, приобретая новые формы и модели, которые принципиально отличаются от предыдущих. Основное отличие заключается в опережающем характере, который определяется как научно-образовательный процесс, способный на основе предвидения и прогнозирования обеспечить выживание человечества в движении к ноосферному образованию. Идея опережающего глобального образования разрабатывается авторами книги как концепция футуризации образования, чему посвящена четвертая глава исследования. Данная концепция раскрывает образование не как явление инертное, отстающее от развития социальной системы, а, наоборот, как ноосферный феномен, способный задавать вектор прогрессивного развития человечества.

Следует отметить, что исторически развитие информационных технологий в совокупности с технологиями, делающими эффективными различные виды деятельности, позволяют национальным культурам переходить на более высокий, но достаточно одинаковый уровень технологического развития. Так, в истории человечества можно выделить эпоху аграрной цивилизации, индустриальной, информационной и следующей – ноосферной (А.Д. Урсул). Информационные технологии позволяют национальным культурам, сохраняя свое ядро, переходить к новой, более высокой и технологичной стадии развития. При этом неизбежно происходит определенная унификация деятельности, связанная с применением стандартной технологии. Примером может служить современная стадия цифровизации всех сфер общественной жизни. Она внедряется и проходит по однотипным алгоритмам, которые изначально задаются техникой и технологией. Однако впоследствии при реализации и адаптации, казалось бы, единой матрицы цифровизации общества каждая национальная культура вносит в нее свои изменения, получая при этом и свои неповторимые результаты. Например, развитие науки в нашей стране идет согласно глобальному сценарию, но при этом имеет свои национальные особенности [7], или примеры глобального распространения «базовой модели» детства [6]. Возникает вопрос, почему не получается применить одни и те же матрицу и технологии развития в разных типах национальной культуры и получить одинаковый результат?

Ответ на данный вопрос далеко неоднозначен. Тем не менее, многие исследователи сходятся во мнении о том, что основным механизмом цивилизационного развития является не только технология, но и ядро культуры. В него входят такие элементы, как язык, нормы поведения, система традиционных ценностей, религия и ее культура, традиционные формы бытового сознания и быта, искусства и творчества, ремесла. Несмотря на то что ядро культуры, образуя собой определенный культурный идеал, является неизменным или очень инертным градиентом национальной культуры, оно задает вектор и темпы цивилизационному развитию, меняет элементы его матрицы, участвуя тем самым в процессе эволюции.

Если обратиться к истории цивилизационного развития России, то можно проследить данные тенденции. При этом следует отметить, что исследователи этого вопроса приходят к выводам, близким к результатам авторов рецензируемой монографии, но все же отличающимся некоторыми аспектами. В одной из работ А.А. Кара-Мурзы сделан следующий вывод: «Автор, опираясь на типологию цивилизаций А. Тойнби, Н. Бердяева и собственные разработки (начиная с 1980-х годов), полагает, что цивилизационный процесс в России проходил, во-первых, в режиме “преем-

ственности через катастрофы”, а во-вторых, протекал не только в конфронтации с иными цивилизациями, но и в острой борьбе со своим собственным, внутренним “варварством”» [4, с. 17].

Описывая цивилизационный путь России, А.А. Кара-Мурза подчеркивает, что основой русской цивилизации на начальном этапе была не технология, а православие, то есть религия. В этом случае следует говорить о христианском контексте цивилизационного развития Европы, которое отразилось и на России. Изучая далее исторический путь нашей страны, автор определяет следующий этап ее цивилизационного развития – коммунистическая (советская) цивилизация. И вновь на первый план выходит не технология, уже и не религия, а идеология, определяющая государственное устройство. В современных условиях, по мнению А.А. Кара-Мурзы, формируется Российская цивилизация. Ее основания, как считает автор, носят «кентаврический» характер. Действительно, в современных условиях мы наблюдаем в России и переход технологического развития к цифровому формату, что соответствует глобальным тенденциям современного этапа цивилизационного развития, и попытку возрождения православия, а также переход к новому типу государственного устройства на основе идеи единства народа, церкви и государства – патриотизма.

Для примера следует привести еще одну работу, посвященную исследованию цивилизационного пути России. Ее авторы делают акцент на духовно-экологической стратегии развития нашей страны [2]. Проведя исследования существующих типологий цивилизации, исследователи предлагают сместить акценты в основаниях цивилизационного развития с технологических на антропологические. Иными словами, переход от одной стадии цивилизационного развития к другой определяется отношением человека к природе. Выстраиваются такие этапы, как биоцентризм (человек есть часть природы), техноцентризм (человек есть покоритель и потребитель природы как создатель альтернативного техногенного мира) и ноосферизм (возврат человека к природе как высокодуховного и высокотехнологического существа).

Изучая эти и многие другие работы, посвященные проблемам цивилизационного развития в целом и России в частности, мы приходим к выводу о том, что идеи авторов рецензируемой монографии последовательно воплощаются, подтверждая обоснованные ими положения о том, что Россия в концепции глобального эволюционизма имеет все основания для перехода к стадии духовно-экологического развития. Авторы сходятся во мнении о том, что наша страна проявляет в своем развитии поистине уникальные способности для социальной системы. За достаточно короткий период в России сменился несколько раз государственный строй, что принципиально отличает ее от многих

других стран. При этом она следует по пути цивилизационного развития передовых стран мира, повторяя не только их достижения, но и ошибки в своем самобытном формате. Даже экономический, политический, социальный и духовный кризисы наша страна переживает и преодолевает совершенно иным путем. Обращение к системе традиционных ценностей нашей культуры, их адаптация к современным условиям цифровизации всех сфер общественной жизни позволит России интегрировать свой богатейший духовный и природно-материальный потенциал.

К таким выводам приходят А.Д. Урсул и И.В. Ильин, опираясь на труды Э. Леруа, П. Тейяр де Шардена, В.И. Вернадского, К.Э. Циолковского и другие, считая, что формирование сферы разума через образование происходит на базе локальных цивилизаций и приобретает глобальный характер, создавая глобальную цивилизацию. Это видение ноосферного образования позволяет авторам в следующей пятой главе рассмотреть его как элемент глобального эволюционизма в движении взаимодействия природы и человека. Чем старше становится человечество, тем выше уровень глобального образования: от архаики к ноосферизму. На этом пути человек прошел этапы существования как части природы, как ее покорителя, затем разрушителя и сегодня совершает попытку исправить нанесенный им вред, восстановить природу. Новый концепт образования – это глобальное экологическое образование, цель которого – устойчивое и безопасное развитие человечества.

Шестая глава монографии посвящена глобализации науки и образования, формированию глобального сознания. Седьмая глава раскрывает образование как механизм обеспечения глобальной безопасности и устойчивого развития. Эта серьезная и важная проблема стоит не только перед отдельными странами, а перед всем человечеством. Данная мысль проводится в восьмой главе и раскрывает специфику этапа ноосферных исследований, направленных на интегральный процесс преобразования социосферы, сохранения биосферы и прогрессивного развития глобальной ноосферы, коллективного разума человечества, основная задача которого должна заключаться не в развязывании войн и конфликтов, а в совместном решении глобальных проблем. основополагающая роль в данном процессе отводится глобальному образованию.

Последняя девятая глава посвящена перспективам России, ее переходу к новым стратегиям цивилизационного развития. «В России без восстановления ее духовного потенциала невозможно реализовать ноосферный вариант обсуждаемой стратегии УР. Вот почему необходимо концепцию устойчивого развития связать с теми духовными ценностями россиян, которые сформировались в гуще народа и отражают его понимание мира. Для реализации идей устойчи-

вого развития необходимо изменение мировоззрения от простого осознания национальной самобытности до глобального и даже “вселенского” понимания идеи ноосферогенеза не как западной, а подлинно российской и вместе с тем общечеловеческой идеи как составной части российского менталитета» [3, с. 501].

Анализируя роль России в глобальном развитии цивилизации, авторы обосновывают необходимость четкого и строгого определения и применения категориального аппарата междисциплинарного эволюционного подхода в исследовании социоприродных систем, что совпадает с мнением других исследователей: «Итак, выделяя в общественном развитии культурно-цивилизационные системы, будем обозначать этим составным термином самодостаточные целостные общественные структуры, которые, с одной стороны, характеризуются принципиальной схожестью основных параметров культуры, где при наличии множества несовпадений обязательно должны быть некоторые доминирующие культурные составляющие (общие для всего социума), такие, например, как язык, идеология или религия; а с другой стороны, относительной равномерностью проявления в различных частях данной целостности (социосистемы) цивилизационных связей и отношений» [13, с. 686].

Наша страна определяет свой путь цивилизационного развития на основе собственной национальной

идеи, которая отражает наш культурный идеал. На современном этапе она развивается как идея единства граждан России на платформе многих оснований. Мы едины не в вопросах вмешательства и навязывания своих интересов другим странам и народам, как, например, США, а в идее мира и прогресса всего человечества. Ни одна страна мира не способна решить современные глобальные проблемы в одиночку. По этому поводу авторы монографии обосновывают следующее положение: «Национальная идея должна объединять российское общество с Российским же государством на реализацию фундаментальных стратегических целей выживания и дальнейшего развития как нашей страны, так и всего мирового сообщества» [3, с. 507].

Исторический путь России показывает, что в цивилизационном развитии нашей страны невозможно выделить одно основание. Подчиняясь общим технологическим направлениям развития глобальной цивилизации, Россия сохраняет свою идентичность, внося то самое разнообразие (атрибутивная концепция информации), которое по мнению А.Д. Урсула и есть основа существования и прогресса. Именно поэтому наша страна для духовного возрождения и цивилизационного глобального развития должна сохранить основные элементы культурного ядра, такие как русский язык и культуру, традиционные ценности, лучшую в мире систему образования и науки.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Грязнова ЕВ. Субстратный подход в исследовании цифровой культуры. Вестник Томского государственного университета. 2021;(464):68-75.
2. Иванов АВ, Попков ЮВ. Типология цивилизаций в диахроническом измерении: базовые модели и перспективы России. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. 2022;(2):404-15.
3. Ильин ИВ, Урсул АД. Образование, общество, природа: Эволюционный подход и глобальные перспективы. М.: Издательство Московского университета; 2016.
4. Кара-Мурза АА. История цивилизации в России: органическое развитие versus социальный конструктивизм. Вопросы философии. 2021;(7):17-26.
5. Колин КК, Урсул АД. Информация и культура. Введение в информационную культурологию. М.: Стратегические приоритеты; 2015. 300 с.
6. Николай ФВ, Маслов АН. «Ориентировать, не предсказывая»: будущее в социальной истории П. Стернса. Сибирские исторические исследования. 2023;(1):218-36.
7. Попкова ЕГ, Кузнецов ВП, Самерханова ЭК. Устойчивое развитие российской науки: «институциональные ловушки» научных журналов и перспективы их преодоления. Вестник Мининского университета. 2023;11(2) DOI 10.26795/2307-1281-2023-11-2-9.
8. Ракитов АИ. Культура, цивилизация и современные технологии в перспективе глобальных трансформаций. Век глобализации. 2018;(3):47-57.
9. Урсул АД. Информационная природа эволюции и освоения мира: концептуальная гипотеза. Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2019;(2):1-8.
10. Урсул АД, Урсул ТА. Концепция становления ноосферной цивилизации. Социально-гуманитарные знания. 2017;(5):301-14.
11. Урсул АД. Цифровизация и образование для устойчивого развития: перспективы взаимосвязи в процессе эволюции. Знание. Понимание. Умение. 2020;(2):39-54.
12. Урсул ТА. Социоприродный подход в глобальном эволюционизме. Вестник Московского

университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика. 2020;(2):22-34.

13. Чумаков АН. Культурно-цивилизационная идентичность в глобальном мире: выводы для России. Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество: В кн. Герасимов ВИ, ред. Материалы Пятой международной научно-практической конференции «Большая Евразия: национальные и цивилизационные аспекты развития и сотрудничества», Москва, 23–24 ноября 2022 года: Институт научной информации по общественным наукам РАН; 2023. С. 683-7.

Общий список литературы/References

- Griaznova YeV. [A substrate-based approach to digital culture studies]. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2021;(464):68-75. (In Russ.)
- Ivanov AV, Popkov YuV. [Typology of civilizations in the diachronic dimension: basic models and prospects for Russia]. Vestnik Rossijskogo Universiteta Druzhby Narodov Seriya Sotsiologiya. 2022;(22, 2):404-15. (In Russ.)
- Ilyin IV, Ursul AD. Obrazovaniye, Obshchestvo, Priroda: Evoliutsionnyi Podhod i Globalnye Perspektivy. [Education, Society, and Nature: An Evolutionary Approach and Global Perspectives]. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta; 2016. (In Russ.)
- Kara-Murza AA. [The history of civilization in Russia: organic development versus social constructivism]. Voprosy Filosofii. 2021;(7):17-26.
- Kolin KK, Ursul AD. Informaciya i Kultura. Vvedeniye v Informatsionnyu Kulturologiyu. [Information and Culture. Introduction to Information Cultural Studies]. Moscow: Strategicheskiye Prioritety; 2015. (In Russ.)
- Popkova YeG, Kuznetsov VP, Samerkhanova EK. [Sustainable development of Russian science: “institutional traps” of scientific journals and prospects for overcoming them]. Vestnik Mininskogo Universiteta. 2023;11(2). DOI 10.26795/2307-1281-2023-11-2-9. (In Russ.)
- Nikolai FV, Maslov AN. [“Orienting without predicting”: the future in P. Stearns’ social history]. Sibirskiye Istoricheskiye Issledovaniya. 2023;(1):218-36.
- Rakitov AI. [Culture, civilization and modern technologies in the perspective of global transformations]. Vek Globalizatsii. 2018;(3(27):47-57. (In Russ.)
- Ursul AD. [The informational nature of the evolution and development of the world: a conceptual hypothesis]. Nauchno-tehnicheskaya Informatiya Ser 2 Informatsionnye Processy I Sistemy. 2019;(2):1-8. (In Russ.)
- Ursul AD, Ursul TA. [The concept of the formation of a noospheric civilization]. Sotsialno-Gumanitarnye Znaniya. 2017;(5):301-14. (In Russ.)
- Ursul AD. [Digitalization and education for sustainable development: perspectives of interconnection in the process of evolution]. Znaniye Ponimaniye Umeniye. 2020;(2):39-54. (In Russ.)
- Ursul TA. [Socio-natural approach in global evolutionism]. Vestnik Moskovskogo Universiteta Ser 27 Globalistika i Geopolitika. 2020;(2):22-34. (In Russ.)
- Chumakov AN. [Cultural and civilizational identity in the global world: conclusions for Russia]. In: Gerasimov VI, ed. Bolshaya Yevraziya: Razvitiye, Bezopasnost, Sotrudnichestvo. Materialy Piatoy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii, Moskva, 23-24 Noyabria 2022 Goda. Moscow: Institut Nauchnoy Informatsii po Obshchestvennym Naukam RAN; 2023. P. 683-7. (In Russ.)





БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ

Редакция журнала «Биосфера» и руководство ФНИ «XXI век» считают рецензирование рукописей важнейшим условием работы научных журналов и выражают глубокую признательность специалистам, согласившимся помочь редколлегии в 2023 г.:

- Агафонов В.А.** докт. биол. наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и микологии биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета
- Васюков В.М.** канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории исследования экосистем Института экологии Волжского бассейна Самарского федерального исследовательского центра РАН (Тольятти)
- Гелашвили Д.Б.** докт. биол. наук, профессор, профессор-консультант кафедры экологии института биологии и биомедицины Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского
- Голуб В.Б.** докт. биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия и фитоценологии Института экологии Волжского бассейна Самарского федерального исследовательского центра РАН (Тольятти)
- Дембицкий В.М.** докт. хим. наук, профессор, Центр прикладных исследований, инноваций и предпринимательства Летбриджского колледжа (Канада)
- Еськов И.Д.** докт. с/х. наук, заведующий кафедрой «Защита растений и плодоовощеводство» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова
- Евсеева Н.В.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунохимии Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр РАН»
- Жариков В.В.** канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН (Владивосток)
- Ильинов А.А.** канд. с/х. наук, старший научный сотрудник лаборатории лесных биотехнологий Института леса обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» (Петрозаводск)
- Ивченко Т.Г.** докт. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории общей геоботаники Ботанического института РАН (Санкт-Петербург)
- Кашкаров Е.П.** канд. геогр. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского института биологии Иркутского университета
- Колотилова Н.Н.** докт. биол. наук, доцент кафедры микробиологии биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
- Косинцев П.А.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН, ведущий специалист лаборатории естественнонаучных методов в гуманитарных исследованиях Уральского федерального университета (Екатеринбург)
- Крыленко В.В.** канд. геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии Южного отделения Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Геленджик)
- Ларина Г.Е.** докт. биол. наук, профессор, заведующая лабораторией экспериментальных методов исследований Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вяземы)
- Мирич Д.М.** канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой геоботаники и экологии растений Санкт-Петербургского государственного университета
- Михайлов Ю.Е.** докт. биол. наук, профессор кафедры экологии и природопользования Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург)
- Максимович Н.В.** докт. биол. наук, профессор кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета
- Селезнев В.А.** канд. геогр. наук, профессор, главный научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна Самарского федерального исследовательского центра РАН (Тольятти)
- Селиховкин А.В.** докт. биол. наук, профессор, заведующий кафедрой защиты леса, древесиноведения и охотоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова

- Сенатор С.А.** канд. биол. наук, врио заместителя директора по научной работе Главного ботанического сада РАН (Москва)
- Симоенкова В.А.** канд. с/х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства Оренбургского государственного аграрного университета
- Сопрун Л.А.** канд. мед. наук, доцент кафедры организации здравоохранения и медицинского права Санкт-Петербургского государственного университета
- Терехова В.А.** докт. биол. наук, профессор кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова
- Третьякова А.С.** докт. биол. наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоэкологии Института естественных наук и математики Уральского Федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург)
- Усатов И.А.** младший научный сотрудник Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского (Владивосток)
- Усольцев В.А.** докт. с/х. наук, главный научный сотрудник лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса Ботанического сада Уральского отделения РАН (Екатеринбург)
- Хабиров И.К.** докт. биол. наук, профессор кафедры почвоведения, агрохимии и точного земледелия Башкирского государственного аграрного университета (Уфа)
- Черниковский Д.М.** докт. с/х. наук, профессор кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
- Шевчук А.В.** докт. экон. наук, заместитель председателя Совета по изучению производительных сил, руководитель Отделения проблем природопользования и экологии Всероссийской академии внешней торговли Министерства экономического развития Российской Федерации, профессор Московского государственного университета, (Москва)
- Шитиков В.К.** докт. биол. наук, старший научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна Самарского федерального исследовательского центра РАН (Тольятти)



СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 15

Combined contents of volume 15

№:стр.		№:стр.	
	ПРАКТИКА / PRACTICE	3:193	ФИТОПАТОГЕННЫЕ БАКТЕРИИ РОДОВ DICKEYA И PECTOBACTERIUM: ОСОБЕННОСТИ ПАТОГЕННОГО ПРОЦЕССА И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ М.Д. Ерохова, М.А. Кузнецова <i>PHYTOPATHOGENIC BACTERIA OF THE GENERA DICKEYA AND PECTOBACTERIUM: CHARACTERISTICS OF PATHOGENESIS AND APPROACHES TO PROTECTING POTATO CROPS THEREFROM</i> <i>M.D. Yerokhova, M.A. Kuznetsova</i>
1:21	ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА НАРУШЕНИЙ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПОСЛЕ ВСПЫШКИ ЧИСЛЕННОСТИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА С.М. Султсон, Е.И. Пономарев, Е.Г. Швецов, П.Д. Третьяков, А.А. Горошко, Н.Н. Кулакова, П.В. Михайлов <i>USING REMOTE SENSING FOR FORECASTING DAMAGE TO DARK CONIFEROUS FORESTS AFTER SIBERIAN SILKMOTH OUTBREAK</i> <i>S.M. Sultson, E.I. Ponomarev, E.G. Shvetsov, P.D. Tretyakov, A.A. Goroshko, N.N. Kulakova, P.V. Mikhaylov</i>	3:204	ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗУЧЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ДНА МОРСКИХ МЕЛКОВОДИЙ К.М. Петров, А.С. Унагаев <i>REMOTE STUDIES AND MAPPING OF MARINE SHALLOW WATER BOTTOMS</i> <i>K.M. Petrov, A.S. Unagaev</i>
2:91	РЕКРЕАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ В.Н. Большаков, А.В. Гилев, М.Г. Головатин, И.А. Кузнецова, Л.А. Пустовалова, Л.Н. Степанов <i>RECREATIONAL IMPACT ON SPECIAL PROTECTED AREAS OF VARIOUS CATEGORIES</i> <i>V.N. Bolshakov, A.V. Gilev, M.G. Golovatin, I.A. Kuznetsova, L.A. Pustovalova, L.N. Stepanov</i>	3:220	СОСТОЯНИЕ УРОВНЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ И.А. Белозерцева, Н.А. Зверева, Н.А. Скосырский, А.В. Козин <i>STATE OF SOIL FERTILITY IN THE PRE-BAIKAL REGION</i> <i>I.A. Belozertseva, N.A. Zvereva, N.A. Skosyrskiy, A.V. Kozin</i>
2:107	ВИДОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕТЕРОБАСИДИОН ANNOSUM (FR.) BREF. В ОЧАГАХ УСЫХАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ШУШЕНСКИЙ БОР» М.А. Шеллер, А.И. Татаринцев, Т.В. Сухих, А.А. Ибе, П.В. Михайлов <i>IDENTIFICATION OF THE FUNGAL SPECIES HETEROBASIDIUM ANNOSUM (FR.) BREF. IN THE FOCI OF DRYING OF PINUS SYLVESTRIS PINES IN SHUSHENSKIY BOR NATIONAL PARK</i> <i>Sheller M.A., Tatarintsev A.I., Sukhikh T.V., Ibe A.A., Mikhaylov P.V.</i>	4:308	ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ И ГУМАТОВ ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ А.М. Назаров, И.О. Туктарова, С.П. Четвериков, Р.С. Иванов, М. Тимергалин, Н.А. Рязанова, Г.Р. Кудоярова <i>BACTERIA- AND HUMATE-BASED PREPARATIONS FOR FOREST RESTORATION AND FOR ENHANCING CARBON SEQUESTRATION BY TREES</i> <i>A.M. Nazarov, I.O. Tuktarova, S.P. Chtverikov, R.S. Ivanov, M. Timergalin, N.A. Riazanova, G.R. Kudoyarova</i>
3:184	ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА Л.П. Капелькина, Т.В. Бардина <i>APPROACHES TO EXAMINING OF OBJECTS OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE</i> <i>L.P. Kapelkina, T.V. Bardina</i>	1:33	ПРИРОДА / NATURE КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФЛОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ (ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ) НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ А.В. Иванова <i>LOCAL FLORA SELECTION CRITERIA FOR STUDYING OF FLORISTIC DIVERSITY (PHYTODIVERSITY) AT THE REGIONAL LEVEL</i> <i>A.V. Ivanova</i>

- | | | | |
|-------|--|-------|--|
| 2:111 | <p>МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СТРЕССА У РЫБ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОЕМЫ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ
 А.К. Минеев
 <i>SMORPHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF STRESS DEVELOPMENT IN FISHES UNDER CLIMATE CHANGES AND INCREASING ANTHROPOGENIC LOAD ON WATER BASINS IN MIDDLE AND LOWER VOLGA REGIONS</i>
 <i>A.K. Mineev</i></p> | 3:261 | <p>АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА БАЙКАЛЬСКУЮ НЕРПУ (PUSA SIBIRICA GM.) В БЕРЕГОВОЙ ПЕРИОД ЕЕ ЖИЗНИ (ПО МАТЕРИАЛАМ 2022 ГОДА)
 А.Б. Купчинский, М.Е. Овдин, Е.А. Петров
 <i>ANTHROPOGENIC IMPACTS ON THE COASTAL LIFE PERIOD OF THE BAIKAL SEAL (PUSA SIBIRICA GM.) REVEALED DURING FIELD STUDIES IN 2022</i>
 <i>A.B. Kupchinsky, M.Ye. Ovdin, E.A. Petrov</i></p> |
| 2:128 | <p>ОСОБЕННОСТИ ПОРАЖЕННОСТИ СТВОЛОВОЙ ГНИЛЬЮ БЕРЕЗНЯКОВ В ЛЕСАХ КРАСНОЯРСКОЙ ГРУППЫ РАЙОНОВ
 А.И. Татаринцев, Н.П. Мельниченко
 <i>CHARACTERISTICS OF BIRCH WOODS DAMAGE CAUSED BY STEM ROT IN THE KRASNOYARSK GROUP OF TERRITORIES</i>
 <i>A.I. Tatarintsev, N.P. Melnichenko</i></p> | 3:285 | <p>СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ BETULA PENDULA В УСЛОВИЯХ СТЕРЛИТАМАКСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА
 Р.Х. Гиниятуллин, О.В. Тагирова, Р.С. Иванов, А.Ю. Кулагин
 <i>SEASONAL DYNAMICS OF CHANGES IN THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF THE BIRCH BETULA PENDULA IN THE CONDITIONS OF THE STERLITAMAK INDUSTRIAL CENTER</i>
 <i>R.H. Giniyatullin, O.V. Tagirova, R.S. Ivanov, A.Yu. Kulagin</i></p> |
| 2:138 | <p>ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЙ ПАРК И ПРИЧИНЫ ВЫМИРАНИЯ МАМОНТОВ
 И.Ю. Попов
 <i>THE PLEISTOCENE PARK AND THE CAUSES OF MAMMOTH EXTINCTION</i>
 <i>I.Yu. Popov</i></p> | 4:317 | <p>КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ ЯДЕР ЛЕОПАРДА (Panthera pardus) НА КАВКАЗЕ
 В.С. Лукаревский
 <i>CONCEPT OF AND METHODS FOR DEVELOPING THE REPRODUCTIVE CORES OF THE LEOPARD PANTHERA PARDUS IN CAUCASUS</i>
 <i>V.S. Lukarevsky</i></p> |
| 3:229 | <p>ТОКСИНЫ ЯДА АФРИКАНСКИХ МАМБ (DENDROASPIS SP.) КАК АЛЛЕЛОХИМИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ
 Д.Б. Гелашвили, Е.Б. Романова
 <i>TOXINS FROM THE VENOMS OF AFRICAN MAMBAS (DENDROASPIS SP.) AS ALLELOCHEMICAL AGENTS</i>
 <i>D.B. Gelashvili, E.B. Romanova</i></p> | 4:327 | <p>ДИНАМИКА ПСАММОФИТНОЙ СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КАРЖИМАНТСКИЕ СКЛОНЫ»)
 Л.А. Новикова, В.М. Васюков, Т.В. Горбушина, А.В. Иванова, Т.М. Лысенко
 <i>DYNAMICS OF PSAMMOPHYTIC STEPPE VEGETATION IN PENZA REGION WITHIN THE TERRITORY OF THE NATURAL MONUMENT "KARZHIMANTSKY SLOPES"</i>
 <i>L.A. Novikova, V.M. Vasiukov, T.V. Gorbushina, A.V. Ivanova, T.M. Lysenko</i></p> |
| 3:246 | <p>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ЦИАНОБАКТЕРИЙ УЧАСТКА РАВНИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО УЧЕТА И 16S-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ
 М.В. Уманская, М.Ю. Горбунов, Е.С. Краснова, Н.Г. Тарасова
 <i>MICROSCOPIC EXAMINATION AND 16S METABARCODING FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF CYANOBACTERIA COMMUNITY STRUCTURE IN A PLAINLAND WATER STORAGE BASIN</i>
 <i>M.V. Umanskaya, M.Yu. Gorbunov, Ye.S. Krasnova, N.G. Tarasova</i></p> | 4:335 | <p>ФЛОРИСТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА Г. ТЮМЕНИ
 В.А. Глазунов, А.С. Третьякова, Е.А. Чижов
 <i>CARCASS OF THE CITY OF TYUMEN</i>
 <i>V.A. Glazunov, A.S. Tretyakova, Ye.A. Chizhov</i></p> |

- 4:343** **ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*P. SYLVESTRIS* L.) В СРЕДНЕЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ ХЛОРОПЛАСТНЫХ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ**
М.А. Шеллер, Е. Чиокырлан, П.В. Михайлов, С.С. Кулаков, Н.Н. Кулакова, А.А. Ибе, Т.В. Сухих, А.Л. Курту
*GENETIC DIVERSITY OF SCOTS PINE (*P. SYLVESTRIS* L.) IN MIDDLE SIBERIA ASSESSED BY ANALYSIS OF VARIABILITY OF CHLOROPLAST MICROSATELLITE LOCI*
M.A. Sheller, E. Ciocîrlan, P.V. Mikhailov, S.S. Kulakov, N.N. Kulakova, A.A. Ibe, T.V. Sukhikh, A.L. Curtu
- 4:349** **САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ В ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ПРИГОРОДА КРАСНОЯРСКА**
А.И. Татаринцев, Н.Н. Кулакова
THE SANITARY CONDITION OF RECREATIONAL PINERIES IN SUB-TAIGA FORESTS OF KRASNOYARSK SUBURBS
A.I. Tatarintsev, N.N. Kulakova
- ТЕОРИЯ / THEORY**
- 1:7** **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТА-АНАЛИЗ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОМАССЫ БЫСТРОРАСТУЩИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД**
В.А. Усольцев, И.С. Цепордей, А.А. Парамонов, С.В. Третьяков, С.В. Коптев, А.А. Карабан, И.В. Цветков, А.В. Давыдов, В.П. Часовских
COMPARATIVE META-ANALYSIS OF ALLOMETRIC MODELS OF FAST-GROWING HARDWOOD BIOMASS
V.A. Usoltsev, I.S. Tsepordey, A.A. Paramonov, S.V. Tretyakov, S.V. Koptev, A.A. Karaban, I.V. Tsvetkov, A.V. Davydov, V.P. Chasovskikh
- 2:83** **МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ДРЕВОСТОЕВ ДВУХВОЙНЫХ СОСЕН (ПОДРОД *PINUS* L.) В КЛИМАТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ**
В.А. Усольцев, И.С. Цепордей
*MODELING THE AVERAGE HEIGHT OF STANDS OF TWO-NEEDED PINES (SUBGENUS *PINUS* L.) IN CLIMATIC GRADIENTS OF EURASIA*
V.A. Usoltsev, I.S. Tsepordey
- 3:167** **ФОСФОР В БИОСФЕРЕ И ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА: НА ПОРОГЕ ГЛОБАЛЬНОГО ГОЛОДА**
А.П. Дегтярёв

4:298

PHOSPHORUS IN THE BIOSPHERE AND FOR THE HUMANKIND: ON A THRESHOLD OF GLOBAL FAMINE
A.P. Degtyarev

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИДОВ И УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: КАК ОЦЕНИТЬ ИХ СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ?
В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко, Л.В. Головатюк
THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SPECIES AND THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS: HOW IS IT POSSIBLE TO EXPLAIN THEIR JOINT IMPACT ON THE STRUCTURE OF BENTHOS COMMUNITIES
V.K. Shitikov, T.D. Zinchenko, L.V. Golovatiuk

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ / PUBLIC HEALTH

2:146

ПРОЯВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ 14-ЛЕТНИХ ПОДРОСТКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОЛА К ПРОЖИВАНИЮ В СРЕДНИХ ИЛИ СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
Д.А. Кузнецова, О.Ю. Беспятых, Е.Н. Сизова
MANIFESTATIONS OF ADAPTATION OF 14-YEAR-OLD ADOLESCENTS, DEPENDING ON THEIR GENDER, TO LIVING IN THE MIDDLE OR NORTHERN LATITUDES OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA FEATURING HIGH LEVELS OF TECHNOGENIC POLLUTION
D.A. Kuznetsova, O.Yu. Bespyatykh, E.N. Sizova

НАСЛЕДИЕ / HERITAGE

1:74

АКАДЕМИК ЛЕОН АБГАРОВИЧ ОРБЕЛИ – УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ, ЧЕЛОВЕК (к 140-летию со дня рождения)
Е.В. Розенгарт, Г.А. Оганесян, Н.Е. Басова
ACADEMICIAN LEON ORBELI – SCIENTIST, TEACHER, PERSONALITY (to the 140th anniversary of his birth)
Ye.V. Rozengart, G.A. Oganesyanyan, N.Ye. Basova

4:358

ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ СПУСТЯ И К 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ В РАБОТАХ С.С. ШВАРЦА
Г.С. Розенберг
FIFTY YEARS AGO, AND TOWARDS THE 300TH JUBILEE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: THEORETICAL ECOLOGY IN WORKS BY S.S. SHVARTS
G.S. Rozenberg

4:368 **О ВЗАМОСВЯЗЯХ ОБРАЗОВАНИЯ, ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ В РАБОТАХ А.Д. УРСУЛА (1936-2020)**
Е.В. Грязнова
ON RELATIONSHIPS BETWEEN EDUCATION, SOCIETY, AND NATURE IN WORKS BY A.D. URSUL (1936-2020)
 Ye.V. Griaznova

СОБЫТИЯ И КОММЕНТАРИИ /
EVENTS AND COMMENTS

1:4 **К 90-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ПРОФ. К.М. ПЕТРОВА**
THE 90th ANNIVERSARY OF PROF. K.M. PETROV

2:159 **К ДЕВЯНОСТОЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА Е. В. РОЗЕНГАРТА: ПУТЬ ОТ ХИМИИ КРАСИТЕЛЕЙ К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭНЗИМОЛОГИИ ХОЛИНЭСТЕРАЗ**
М.Л. Фирсов, Н.Е. Басова, Г.А. Оганесян
TO THE 90TH ANNIVERSARY OF PROFESSOR YE.V. ROZENGART: THE WAY FROM DYE CHEMISTRY TO COMPARATIVE BIOCHEMISTRY OF CHOLINESTERASES
 M.L. Firsov, N.Ye. Basova, G.A. Oganesyana

3:292 **ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «БИОЛОГИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ: ПОЧВА, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОДУКЦИЯ», МОСКВА, 28-31 АВГУСТА 2023 Г.**
М.В. Дабахов, Е.В. Федосеева
A RESUME OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE "BIOLOGIZATION OF LAND USE: SOIL, TECHNOLOGY, AND PRODUCTION". MOSCOW, 28-31 AUGUST 2023.
 M.V. Dabakhov, Ye.V. Fedoseyeva

РЕЦЕНЗИИ И ДИСКУССИИ /
VIEWS AND REVIEWS

1:46 **ДИСКУССИЯ ПО КНИГЕ: Т.Д. ЗИНЧЕНКО, Г.С. РОЗЕНБЕРГ "ГИДРОБИОЛОГИЯ 20-Х ГОДОВ 20-ГО ВЕКА (РЕТРОХРОНИКА)". ТОЛЬЯТТИ: РИО ИЗВБ РАН, 2022**
Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг, А.Л. Рижинашвили, М.И. Гладышев, С.М. Голубков
VIEWS ON THE BOOK: BY T.D. ZINCHENKO, G.S. ROZENBERG "HYDROBIOLOGY OF THE 20S OF THE 20TH CENTURY (A RETROCHRONICLE)". TOGLIATTI: IEVB RAN, 2022
 T.D. Zinchenko, G.S. Rozenberg, A.L. Rizhinashvili, M.I. Gladyshev, S.M. Golubkov

1:46 **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ**
Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг
MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF HYDROBIOLOGY
 T.D. Zinchenko, G.S. Rozenberg

1:65 **РЕТРОСПЕКТИВА И ПЕРСПЕКТИВА**
А.Л. Рижинашвили
RETROSPECTIVE AND PERSPECTIVE
 A.L. Rizhinashvili

1:67 **К ИСТОКАМ ГИДРОБИОЛОГИИ**
М.И. Гладышев
TO THE ORIGINS OF HYDROBIOLOGY
 M.I. Gladyshev

1:68 **ГИДРОБИОЛОГИЯ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА**
С.М. Голубков
HYDROBIOLOGY ESTERDAY, TODAY AND TOMORROW
 S.M. Golubkov

2:153 **РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ: ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И ЗДОРОВЬЕ СРЕДЫ: PRO ET CONTRA (Тольятти, 2021)**
О.И. Линева
Book review: POPULATION HEALTH VS. ENVIRONMENTAL HEALTH: PRO ET CONTRA (Togliatti, 2021)
 O.I. Lineva

2:156 **РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ: Е.Ю. Дорохина, Д.Е. Кучер, С.Г. Харченко ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТЫХ ЦИКЛОВ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ. М.: МАКС Пресс, 2023**
Г.С. Розенберг
Book review: Ye.Yu. Dorokhina, D.Ye. Kucher, S.G. Kharchenko CIRCULAR ECONOMY: TRENDS AND PROSPECTS (Moscow: MAKS Press, 2023)
 G.S. Rozenberg

РЕДАКЦИОННЫЕ СТАТЬИ /
EDITORIALS

1:1 **ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К РАЙОНИРОВАНИЮ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РОССИИ**
К.М. Петров, А.С. Евдокимов
THE LANDSCAPE-BASED APPROACH TO ZONING OF THE VEGETATION COVER IN RUSSIA
 K.M. Petrov, A.S. Yevdokimov



Подписано в печать **30.12.2023.**

Дата выхода в свет **05.02.2024.**

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**