

2023

Т. 15, № 1

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**



БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru

**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

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА
НАРУШЕНИЙ ТЕМНОХВОЙНЫХ
ЛЕСОВ ПОСЛЕ ВСПЫШКИ
ЧИСЛЕННОСТИ СИБИРСКОГО
ШЕЛКОПРЯДА**
**С.М. Сультсон, Е.И. Пономарев,
Е.Г. Швецов, П.Д. Третьяков,
А.А. Горошко, Н.Н. Кулакова,
П.В. Михайлов**
*USING REMOTE SENSING FOR
FORECASTING DAMAGE TO DARK
CONIFEROUS FORESTS AFTER
SIBERIAN SILKMOTH OUTBREAK*
*S.M. Sultson, E.I. Ponomarev,
E.G. Shvedov, P.D. Tretyakov,
A.A. Goroshko, N.N. Kulakova,
P.V. Mikhaylov*

**ДИСКУССИЯ ПО КНИГЕ:
ЗИНЧЕНКО Т.Д., РОЗЕНБЕРГ Г.С.
ГИДРОБИОЛОГИЯ 20-Х ГОДОВ
20-ГО ВЕКА (РЕТРОХРОНИКА)**
Тольятти: РИО ИЭВБ РАН, 2022
*VIEWS ON THE BOOK BY T.D. ZINCHENKO
AND G.S. ROZENBERG «HYDROBIOLOGY
OF THE 20^S OF THE 20TH CENTURY
(A RETROCHRONICLE)»*
Togliatti: IEVB RAN, 2022



ФОТО: JAN WESTERHOF, 500PX.COM

© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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

Том 15, № 1

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. 1

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.Ya. 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

1

РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ:

ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К РАЙОНИРОВАНИЮ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РОССИИ

К.М. Петров, А.С. Евдокимов

EDITORIAL:

THE LANDSCAPE-BASED APPROACH TO ZONING OF
THE VEGETATION COVER IN RUSSIA

K.M. Petrov, A.S. Yevdokimov

СОБЫТИЯ И КОММЕНТАРИИ / EVENTS AND COMMENTS

4

К 90-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ПРОФ. К.М. ПЕТРОВА

The 90th Anniversary of Prof. K.M. Petrov

ТЕОРИЯ / THEORY

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

ПРАКТИКА / PRACTICE

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

USING REMOTE SENSING FOR FORECASTING DAMAGE
TO DARK CONIFEROUS FORESTS AFTER SIBERIAN
SILKMOTH OUTBREAK

S.M. Sultson, E.I. Ponomarev, E.G. Shvedov, P.D.
Tretyakov, A.A. Goroshko, N.N. Kulakova,
P.V. Mikhaylov

ПРИРОДА / NATURE

33

КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФЛОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ (ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ) НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

А.В. Иванова

LOCAL FLORA SELECTION CRITERIA FOR STUDYING
OF FLORISTIC DIVERSITY (PHYTODIVERSITY) AT THE
REGIONAL LEVEL

A.V. Ivanova

РЕЦЕНЗИИ И ДИСКУССИИ / VIEWS AND REVIEWS

46

Дискуссия по книге:

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг

ГИДРОБИОЛОГИЯ 20-Х ГОДОВ 20-ГО ВЕКА (РЕТРОХРОНИКА).

ТОЛЬЯТТИ: РИО ИЗВБ РАН, 2022. 2

VIEWS ON THE BOOK

by T.D. Zinchenko and G.S. Rozenberg

«HYDROBIOLOGY OF THE 20S OF THE 20TH
CENTURY (A RETROCHRONICLE)».

TOGLIATTI: IEVB RAN, 2022

46

От авторов:

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ

Author's stance:

T. D. Zinchenko and G.S. Rozenberg

MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF
HYDROBIOLOGY

65

А.Л. Рижинашвили

РЕТРОСПЕКТИВА И ПЕРСПЕКТИВА

A.L. Rzhinashvili

RETROSPECTIVE AND PERSPECTIVE

67

М.И. Гладышев

К ИСТОКАМ ГИДРОБИОЛОГИИ

M.I. Gladyshev

TO THE ORIGINS OF HYDROBIOLOGY

68

С.М. Голубков

ГИДРОБИОЛОГИЯ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

S.M. Golubkov

HYDROBIOLOGY YESTERDAY, TODAY,
AND TOMORROW

НАСЛЕДИЕ / HERITAGE

74

**АКАДЕМИК ЛЕОН АБГАРОВИЧ ОРБЕЛИ –
УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ, ЧЕЛОВЕК (К 140-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

Е.В. Розенгарт, Г.А. Оганесян, Н.Е. Басова

*LACADEMICIAN LEON ORBELI – SCIENTIST,
TEACHER, PERSONALITY (TO THE 140TH
ANNIVERSARY OF HIS BIRTH)*

Ye.V. Rozengart, G.A. Oganesyan, N.Ye. Basova

ПРИЛОЖЕНИЯ / APPENDICES

A5

БЛАГОДАРНОСТИ РЕЦЕНЗЕНТАМ
ACKNOWLEDGMENTS TO REVIEWERS

A9

СВОДНОЕ ОГЛАВЛЕНИЕ ТОМА 14 (2022)
COMBINED CONTENTS OF VOL.14 (2022)



ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К РАЙОНИРОВАНИЮ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РОССИИ

К.М. Петров^{1*#}, А.С. Евдокимов^{2**}

* Санкт-Петербургский государственный университет

** Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Эл. почта: ¹ k.petrov@spbu.ru; ² evdokimov89@gmail.com

Признанным методом отображения региональных особенностей растительного покрова служит геоботаническое районирование. Он основан на свойствах самой растительности. Цель статьи – обосновать целесообразность ландшафтного подхода, который реализуется в ландшафтно-ботаническом методе районирования. Последний основан на тесной связи региональных особенностей растительности с ландшафтами. Такой метод позволяет наиболее полно рассмотреть проблему изучения растительного покрова как с географической, так и с ботанической точки зрения.

Ключевые слова: растительный покров, районирование, геоботаническое, ландшафтно-ботаническое, Россия.

THE LANDSCAPE-BASED APPROACH TO ZONING OF THE VEGETATION COVER IN RUSSIA

K.M. PETROV^{1*}, A.S. YEVDOKIMOV^{2**}

*Saint-Petersburg State University and **Herzen State Pedagogical University of Russia

E-mail: ¹ k.petrov@spbu.ru; ² evdokimov89@gmail.com

Geobotanical zoning is a recognized method for presenting the regional features of vegetation cover. It is based on the properties of the vegetation itself. The purpose of the present comment is to substantiate the expediency of the landscape approach, which is implemented in the landscape-botanical method of zoning. The latter is based on the close association between the regional features of vegetation and landscapes. This method provides for a comprehensive consideration of problem of exploring the vegetation cover from the geographical and the botanical viewpoints.

Keywords: vegetation cover, zoning, geobotanical, landscape-botanical, Russia.

1. Введение

Растительный покров (фитосфера) входит в состав географической оболочки. Разнообразие физико-географических условий определяет неоднородность растительного покрова, что обуславливает необходимость его районирования. При этом, как отмечал В.Б. Сочава [1], границы фитоценозов совпадают с границами геохор. Несмотря на то что при геоботаническом районировании декларируются исключительно ботанические признаки регионализации, на карте геоботанического районирования СССР [2] прослеживается связь геоботанических выделов с географическими. Например, в Еразиятской области темнохвойных лесов выделяется подобласть Восточно-Европейской равнины, подпровинции Западно-Сибирская и Алтайско-Саянская. На карте ландшафтно-ботанического районирования России, используемой в учебнике Петрова, Терехиной «Растительный покров России» [3] названные геоботанические выделы совпадают с таежными

областями: Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и Алтайско-Саянской горной страной.

Таким образом, становится очевидной целесообразность ландшафтного подхода к районированию растительности. Этот подход реализуется в ландшафтно-ботаническом методе районирования. Такое районирование ставит целью отразить своеобразие растительности природно-территориальных единиц разного ранга. На это указывал А.А. Корчагин: в своем определении «Ботаническая география» он писал, что это наука, изучающая растительный покров как один из компонентов современных ландшафтов и ландшафтов прошлых геологических эпох [4, с. 52–60]. К сожалению, в последующие годы понятие «ландшафтно-ботаническое районирование» стало использоваться как синоним геоботанического. Мы подчеркиваем, что ландшафтно-ботаническое районирование – это особый вид районирования, где физико-географические единицы наполняются ботаническим содержанием. Подобный подход использован китайскими учеными [13, 14].

Член редколлегии журнала «Биосфера» со времени основания в 2009 г. О юбилее проф. К.М. Петрова см. с. 5 этого номера журнала.

Ландшафтно-ботанический метод имеет широкое прикладное значение, например, ландшафтная основа используется для районирования лесов [5], болот [6, с. 3–48], пастбищ [7] и пустынь [8]. А.А. Тишков использовал его при обсуждении теоретических вопросов современной биогеографии [9; 10, с. 260–273].

2. Использование ландшафтно-ботанического районирования России в учебных целях

Метод ландшафтно-ботанического районирования реализован при написании учебника «Растительный покров России» [3]. В качестве каркаса были использованы высшие таксоны ландшафтно-экологического районирования, разработанные А.Г. Исаченко [11, 12]. Такие признаки, как климатические, геоморфологические, своеобразие покровных отложений, являются определяющими при формировании фитоценологических и флористических особенностей регионов (рис. 1).

Приведем основанную на выделах ландшафтно-экологической карты систему единиц ландшафтно-ботанического районирования России, использованную в учебнике при описании растительного покрова России [3].

Изменение гидротермического градиента в направлении север/юг является фактором широтной поясности и зональности. На территории России различаются четыре пояса (арабские цифры на карте) и пять зон (римские цифры на карте). В арктическом поясе выделяются высокоарктические тундры (полярные пустыни). В субарктическом поясе – зона тундр, подразделяемая на подзоны: арктических (мохово-лишайниковых), типичных (кустарничково-мохово-лишайниковых), южных (кустарниковых) тундр и лесотундр. В умеренном поясе выделяются зоны: бореальных (таежных) лесов, неморальных широколиственных лесов и зона степей. Зона бореальных (таежных) лесов подразделяется на подзоны: северная, средняя, южная тайга и подтайга (хвойно-широколи-

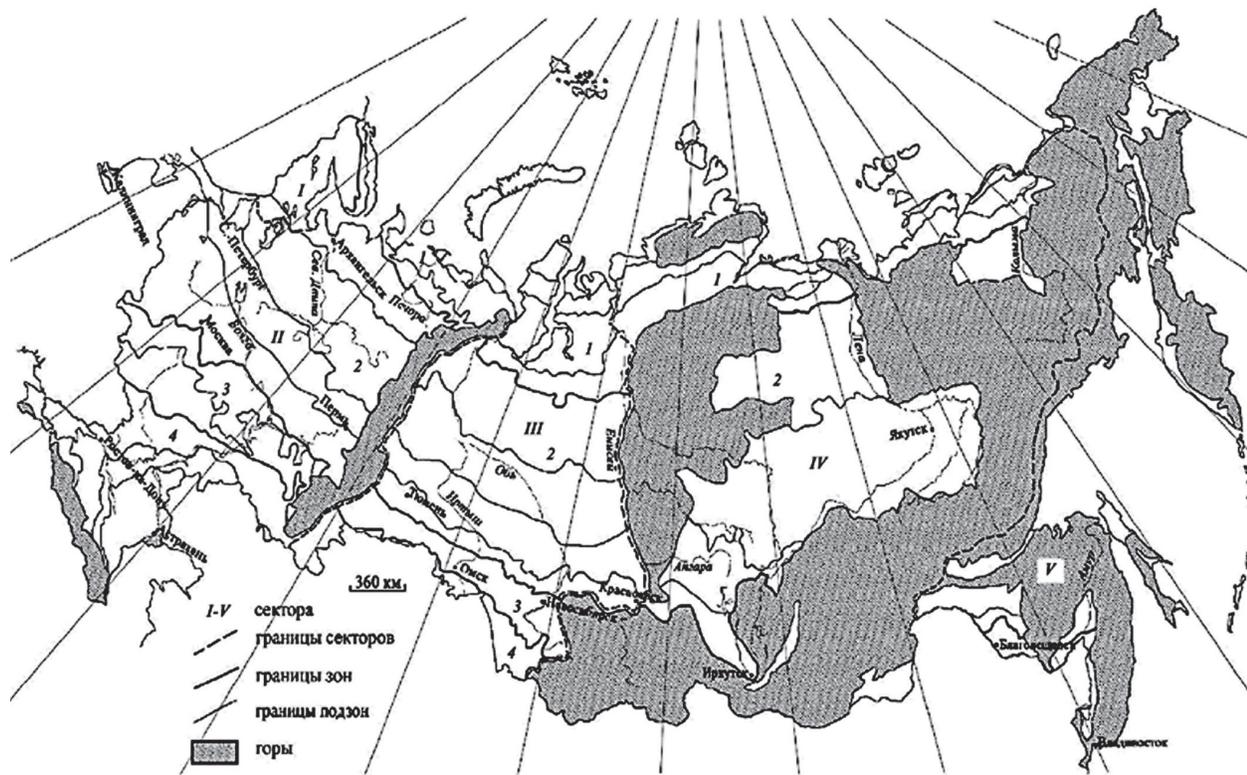


Рис. 1. Ландшафтно-ботаническое районирование России (карта оформлена Н.В. Терехиной). Условные обозначения. Секторы: I – Приатлантический; II – Восточно-Европейский; III – Западно-Сибирский; IV – Средне-Сибирский; V – Притихоокеанский (Дальневосточный). Зоны: 1 – зона тундр; 2 – зона бореальных (таежных) лесов; 3 – зона неморальных широколиственных лесов; 4 – зона степей; границы зон субтропиков на карте не показаны. Названия подзон, ландшафтно-ботанических областей и горных стран см. в тексте

ственные леса). Зона неморальных широколиственных лесов подразделяется на подзоны широколиственных лесов и лесостепи. В западной Сибири широколиственные леса замещаются мелколиственными. Зона степей подразделяется на подзоны: северных (разнотравно-злаковых), средних (древинно-злаковых) и южных опустыненных (полукустарничково-дерновиннозлаковых) степей. В субтропическом поясе в зоне субтропиков на территории России выделяются две подзоны: субтропики средиземноморского типа и влажные субтропики.

Изменение гидротермического градиента в направлении океан/континент (под влиянием Западного переноса, области высокого атмосферного давления в Средней Сибири и муссонной циркуляции на Дальнем Востоке) приводит к разделению природных зон на секторы, совпадающие с физико-географическими странами: Приатлантический (страна Балтийский щит), Восточно-Европейский (страна Восточно-Европейская равнина), Западно-Сибирский (страна Западно-Сибирская равнина), Средне-Сибирский (страна Средне-Сибирское плоскогорье) и Притихоокеанский (Дальневосточный).

Особенности рельефа и растительного покрова на равнинах Евразии служат основанием для выделения в пределах секторов ландшафтно-ботанических областей. Каждая область представляет отрезок зоны внутри сектора (чтобы не перегружать карту области, не обозначены специальными индексами).

В Приатлантическом секторе выделяется Карельская бореальная таежная область.

В Восточно-Европейском секторе в зоне тундр выделяются области: в подзоне высокоарктических тундр – Баренцевоморская, в подзонах арктической, типичной, южной тундр и лесотундры – Кольская и Восточно-Европейская, в пределах бореальной таежной зоны в подзонах северной, средней, южной тайги и хвойно-широколиственных лесов – Восточно-Европейская, в зоне неморальных широколиственных лесов – Восточно-Европейская, в зоне степей в подзонах северных и средних степей – Восточно-Европейская (Донско-Волжская) и Заволжско-Уральская, в подзоне южных опустыненных степей – Прикаспийская область, в зоне субтропиков – области Южного берега Крыма и Черноморского побережья Кавказа.

В Западно-Сибирском секторе в зоне тундр в подзоне высокоарктических тундр выделяется Сибирская область, в подзонах арктической, типичной, южной тундр и лесотундры – Ямало-Гыданская, в пределах бореальной таежной зоны в подзонах северной, сред-

ней и южной тайги – Западно-Сибирская, в зоне неморальных лесов – Западно-Сибирская мелколиственная, в зоне степей в подзонах северных и средних степей – Западно-Сибирская область.

В Средне-Сибирском секторе в зоне тундр в подзонах арктической, типичной, южной тундр и лесотундры выделяются Таймырская и Лено-Колымская области, в пределах бореальной таежной зоны в подзонах северной, средней и южной светло-хвойной тайги – Средне-Сибирская, в зоне степей в подзонах северных и средних степей – Дауро-Монгольская область.

В Притихоокеанском (Дальневосточном) секторе в зоне тундр в подзонах арктической, типичной, южной тундр и лесотундры выделяются Чукотская и Северо-Тихоокеанская островная области, в пределах бореальной таежной зоны в подзонах северной, средней и южной тайги и подтайги – Сахалинская, в подзоне хвойно-широколиственных лесов – Приморская область.

Для гор характерно интегральное проявление широтных и высотно-поясных особенностей распределения растительности. Здесь ландшафтно-ботанические области соответствуют группам типов поясности. Выделяются следующие основные горные страны: Уральская, Кавказская, Алтайско-Саянская, Восточно-Забайкальская, Северо-Восточно-Сибирская и Камчатская.

Описание растительности названных ландшафтно-ботанических выделов приводится в учебнике «Растительный покров России» [3].

Выводы

1. Геоботаническое и ландшафтно-ботаническое районирование представляют два особых вида районирования. Первое основано на свойствах самой растительности, второе – на тесной связи региональных особенностей растительности с ландшафтами.
2. Районирование растительности полезно использовать в учебных целях: геоботаническое – на кафедрах биологической, ландшафтно-ботаническое – на кафедрах географической направленности.
3. Метод ландшафтно-ботанического районирования реализован при написании учебника «Растительный покров России». В качестве каркаса ландшафтно-ботанического районирования использованы высшие таксоны ландшафтно-экологического районирования, разработанные А.Г. Исаченко.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Сочава ВБ. География и экология. В кн.: Материалы V съезда Географического общества СССР. 1970. С. 24.
2. Лавренко ЕМ, ред. Геоботаническое районирование СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР; 1947.
3. Петров КМ, Терехина НВ. Растительный покров России. Учебник. СПб.: Химиздат; 2017.
4. Корчагин АА. Объем и содержание ботанической географии. Вестник ЛГУ. 1947;(5): 52-60.
5. Галкина ЕА. Болотные ландшафты Карелии и способы их классификации. Труды Карельского филиала АН СССР. 1959;(15):3-48.
6. Киреев ДМ. Лесное ландшафтоведение. Учебное пособие. СПб., 2002.
7. Цаценкин ИА, Антипин НА, Чижиков ОН. Методика паспортизации природных кормовых угодий. М.: Изд-во Мин. сел. хоз-ва СССР, 1959.
8. Виноградов БВ. Аэрометоды изучения растительности аридных зон. М.-Л.: Наука, 1966.
9. Тишков АА. Современные проблемы биогеографии: Конспект лекций. М.: Институт географии РАН; 1993.
10. Тишков АА. Современная биогеография России и ее значение для практики сохранения биоразнообразия. В кн.: Многоликая география: Развитие идей Иннокентия Петровича Герасимова (к 100-летию со дня рождения). М.: КМК, 2005. С. 260-73.
11. Исаченко АГ. Экологическая география России. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2001.
12. Исаченко АГ. Введение в экологическую географию. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2003.
3. Petrov KM, Terekhina NV. Rastitelnyi Pokrov Rossii. [Vegetation Cover of Russia]. Saint Petersburg: Khimizdat; 2017. (In Russ.)
4. Korchagin AA. [The scope and content of botanical geography]. Vestnik LGU. 1947;(5):52-60. (In Russ.)
5. Galkina EA. [Marsh landscapes of Karelia and methods for their classification]. Treudy Karelskogo Filiala AN SSSR. 1959;(15):3-48. (In Russ.)
6. Kireyev DM. Lesnoye Landshaftovedeniye. [Forest Landscape Science]. Saint Petersburg; 2002. (In Russ.)
7. Tsatsenkin IA, Antipin NA, Chizhikov ON. Metodika Paspportizatsii Prirodnikh Kormovykh Ugodiy. [Methodology of Certification of Natural Forage Lands]. Moscow: Izdatelstvo Ministerstva Selskogo Khoziaystva SSSR: 1959. (In Russ.)
8. Vinogradov BV. Aerometody Izucheniya Rastitelnykh Aridnykh Zon. [Aerial Methods for Studying Vegetation in Arid Zones]. Moscow-Leningrad: Nauka; 1966. (In Russ.)
9. Tishkov AA. Sovremennye Problemy Biogeografii Konspekt Lektsiy. [Lecture Notes on the Current Problems in Biogeography]. Moscow: Institut Geografii RAN; 1993. (In Russ.)
10. Tishkov AA. [Current biogeography of Russia, and its importance for the practice of biodiversity conservation]. In: Mnogolikaya Geografiya Razvitiye Idey Innokentiya Petrovicha Gerasimova (k 1100-letiyu so Dnia Rozhdeniya). [Many-Sided Geography: Development of Ideas of Innokenty Petrovich Gerasimov (to the 100th Anniversary of His Birth)]. Moscow: KMK; 2005. P. 260273. (In Russ.)
11. Isachenko AG. Ekologicheskaya Geografiya Rossii. [Ecological Geography of Russia]. Saint Petersburg; Izdatelstvo SPbGU; 2001. (In Russ.)
12. Isachenko AG. Vvedeniye v Ekologicheskuyu Geografiyu. [Introduction to Ecological Geography]. Saint Petersburg; Izdatelstvo SPbGU; 2003. (In Russ.)
13. Liu Y, Li T, Zhao W. Landscape functional zoning at a county level based on ecosystem services bundle: Methods comparison and management indication. J Environ Manag. 2019;249:109315.
14. Liu F, Huang Z. On the vegetation regionalisation of Jiangsu Province. Chin J Plant Ecol. 1987;11(3):226.

Общий список литературы/Reference List

1. Sochava, VB. [Geography and ecology]. In: Materialy V Syezda Geograficheskogo Obschestva SSSR. [Proceedings of the V Congress of the Geographical Society of the USSR]. 1970. P. 24 (In Russ.)
2. Lavrenko YeM, ed. Geobotanicheskoye Rayonirovaniye SSSR. [Geobotanical Regionalization of the USSR]. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR; 1947. (In Russ.)

К 90-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ПРОФ. К.М. ПЕТРОВА THE 90TH ANNIVERSARY OF PROF. K.M. PETROV



Кирилл Михайлович Петров – доктор географических наук, профессор кафедры биogeографии и охраны природы СПбГУ, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Почетный профессор Санкт-Петербургского государственного университета.

Родился 3 мая 1933 года. После окончания в 1956 году кафедры ботанической географии ЛГУ (ныне – кафедры биogeографии), которую возглавлял проф. А.А. Корчагин, Кирилл Михайлович пошел работать в лабораторию аэрометодов АН СССР (ЛАЭМ, позже ГУП «НИИ Космоаэрогеологических методов» – ВНИИКАМ), в морскую группу.

Педагогическую деятельность К.М. Петров начал в 1978 году в должности профессора, а затем заведующего кафедрой физической географии Ленинградского педагогического института им. А.И. Герцена.

В 1989 году К.М. Петров был избран по конкурсу на должность заведующего кафедрой биogeографии Географического факультета Ленинградского государственного университета (ныне – Института наук о Земле СПбГУ). В эти годы на факультете проф. С.Б. Лавровым и проф. В.С. Жекулиным активно развивалась концепция геозкологии, которая была призвана использовать науку географию для решения глобальных экологических проблем человечества. Эта концепция получила широкую поддержку географической общественности, в результате наш факультет (как и факультеты во многих других университетах нашей страны) был переименован в факультет

географии и геозкологии. Кирилл Михайлович также заинтересовался идеями геозкологии, в результате чего при поддержке гранта РФФИ им была опубликована монография «Геозкология» (1994), а позже – учебное пособие «Геозкология» (2004).

К.М. Петров многие годы читал общему потоку студентов I курса лекции по биogeографии. Этот предмет является базовым в подготовке профессионального географа и служит основой для изучения других географических дисциплин. Им опубликованы фундаментальные учебники: «Биogeография с основами охраны природы» (2001), «Биogeография» (изд. 2-е, 2005; изд. 3-е, 2006). В связи с тем, что для преподавания курса «Растительность России» современного учебника не было, Кирилл Михайлович в сотрудничестве с доцентом Н.В. Терехиной разработал и опубликовал монографию «Растительность России и сопредельных стран» (2013) (при поддержке гранта РГО) и учебник «Растительный покров России» (2017).

Особого внимания заслуживает обращение К.М. Петрова к нравственным аспектам экологического образования: использованию потенциала мировой и русской культуры, художественной литературы как мощного средства воспитания мировоззрения, способствующего гармонизации взаимодействия общества и природы. Опубликованы учебники «Экология человека и культура» (1999) (2-е изд. – 2000), «Экология и культура» (2001), «Философские проблемы географии: натурфилософская парадигма» (2005).

На протяжении многих лет внимание Кирилла Михайловича было обращено на разработку идей биogeографии океана и концепций подводного ландшафтоведения. Опубликована монография «Подводные ландшафты: теория и методы исследования» (1989) и учебник «Биogeография океана» (2008). В последние годы опубликованы статьи «Принципы биомического районирования береговой зоны и шельфа Мирового океана» (2020) и «Концепция подводного ландшафта» (2020). Выходит в свет учебное пособие «Морская экология: экосистемы и подводные ландшафты».

Большое внимание К.М. Петров уделяет подготовке научных кадров, под его руководством защищены 15 кандидатских (в том числе аспирантами из КНР и Республики Мали) и 2 докторские диссертации.

Общее число публикаций К.М. Петрова составляет более 200, в том числе 18 монографий и учебников.

От всей души поздравляем Кирилла Михайловича с юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, долгих лет жизни и больших творческих успехов.

*Коллектив кафедры
биogeографии и охраны природы СПбГУ*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТА-АНАЛИЗ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОМАССЫ БЫСТРОРАСТУЩИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

В.А. Усольцев^{1, 2*}, И.С. Цепордей¹, А.А. Парамонов³,
С.В. Третьяков^{3, 4}, С.В. Коптев^{3, 4}, А.А. Карабан^{3, 4},
И.В. Цветков^{3, 4}, А.В. Давыдов^{3, 4}, В.П. Часовских⁵

¹ Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия;

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия;

³ Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск, Россия;

⁴ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия;

⁵ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

Эл. почта: * Usoltsev50@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.12.2022; принята к печати 03.02.2023

Потенциальное истощение ископаемых ресурсов и необходимость стабилизации климата требуют все более широкого использования возобновляемых источников энергии, в частности, путем культивирования быстрорастущих пород, таких как ива (*Salix L.*), тополь (*Populus L.*) и ольха (*Alnus L.*), на микроротационных плантациях. Фактическая биомасса деревьев, определяемая на пробных площадях, редко приводится в научных статьях, а обычно дается в сжатом виде в форме уравнений зависимости биомассы от диаметра ствола и/или высоты дерева. В этой связи, а также из-за высокой трудоемкости получения эмпирических данных на пробных площадях получила распространение разработка обобщающих (generic) моделей биомассы на основе мета-анализа как способа объединения результатов независимых исследований. Целью настоящего исследования было (а) сформировать базу эмпирических данных, а также псевдоданных, восстановленных путем табулирования аллометрических моделей биомассы *Salix*, *Populus* и *Alnus* в известных диапазонах диаметров ствола по имеющимся опубликованным источникам; (б) разработать аллометрические мета-модели надземной биомассы трех названных родов и провести их сравнительный анализ; (в) выполнить анализ смещений при оценке надземной биомассы деревьев посредством мета-моделей относительно исходных данных; (г) разработать модели для оценки фракционного состава биомассы деревьев трех родов по значениям надземной биомассы, полученным по ее мета-моделям. Установлено, что всеобщие мета-модели объясняют около 99% изменчивости надземной биомассы и характеризуются незначительными отклонениями (в среднем около 2%) от исходных значений. Мета-модели биомассы фракций, связанные с мета-моделями надземной биомассы по рекурсивному принципу, объясняют изменчивость массы листьев, ветвей, стволов и корней соответственно на 70–90; 87–95; 99,3–99,7 и 93–99%. Предложенные мета-модели надземной биомассы деревьев могут быть применены в регионах, для которых отсутствуют аллометрические модели биомассы. При введении в модели корректировочного коэффициента, учитывающего форму нижней части ствола, они могут быть использованы для оценки углерод-депонирующей способности не только энергетических плантаций, но и насаждений управляемых лесов по данным таксации.

Ключевые слова: *Salix L.*, *Populus L.*, *Alnus L.*, фитомасса ствола, всеобщая модель, мета-анализ, регрессионный анализ.

COMPARATIVE META-ANALYSIS OF ALLOMETRIC MODELS OF FAST-GROWING HARDWOOD BIOMASS

V.A. Usoltsev^{1, 2*}, I.S. Tsepordey¹, A.A. Paramonov³, S.V. Tretyakov^{3, 4}, S.V. Koptev^{3, 4},
A.A. Karaban^{3, 4}, I.V. Tsvetkov^{3, 4}, A.V. Davydov^{3, 4}, V.P. Chasovskikh⁵

¹ Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia;

² Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia;

³ Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia;

⁵ Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

E-mail: * Usoltsev50@mail.ru

The potential depletion of fossil resources and the need to stabilize the climate require an increasing use of renewable energy sources, in particular, through the cultivation of fast-growing species such as willow (*Salix* L.), poplar (*Populus* L.) and alder (*Alnus* L.) on microrotation plantations. The actual biomass of trees determined on sample plots is rarely published in scientific papers and is usually presented as equations of the dependence of biomass on stem diameter and / or tree height. In this regard, as well because it is difficult to obtain empirical data on sample plots, the development of generic models of biomass based on meta-analysis as a way to generalize the results of independent studies has gained popularity. The purpose of the present study was (a) to construct a database of empirical data, as well as pseudo-data recovered by tabulating allometric models of *Salix*, *Populus* and *Alnus* biomass in known ranges of stem diameters according to available published sources; (b) to develop allometric meta-models of the aboveground biomass of the three aforementioned genera and to perform their comparative analysis; (c) to analyze biases in the assessments of the aboveground biomass of trees with meta-models vs. the original data; (d) to develop models for assessing the component composition of tree biomass of the three genera based on the values of aboveground biomass extracted from its meta-models. It is found that the generic meta-models explain about 99% of the variability of aboveground biomass and produce minor deviations (about 2% on average) from the initial values. Meta-models of biomass components associated with meta-models of aboveground biomass based on the recursive principle explain the variability of the mass of foliage, branches, stems and roots by 70-90, 87-95, 99.3-99.7 and 93-99% respectively. The proposed meta-models of aboveground biomass of trees can be applied in regions for which there are no allometric models of biomass. When a correction factor that takes into account the shape of the lower part of tree stem is introduced into the models, they can be used to assess the carbon depositing capacity of not only energy plantations, but also of managed forests using forest mensuration data.

Keywords: *Salix* L., *Populus* L., *Alnus* L., stem biomass, generic model, meta-analysis, regression analysis.

Потенциальное истощение ископаемых ресурсов и настоятельная необходимость стабилизации климата требуют все более широкого использования возобновляемых источников энергии [50]. В настоящее время биомасса растений обеспечивает около 10% мировых поставок энергии [81] и в будущем будет важным компонентом первичных источников энергии [24]. Производство возобновляемой энергии осуществляется на микроротационных плантациях быстрорастущих древесных видов с периодом ротации от 2 до 20 лет. Основной акцент сделан на плантациях ивы (*Salix* L.) с наиболее короткой ротацией, но используются и другие лиственные виды, такие как тополь (*Populus* L.), ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench) и береза (*Betula* L.) с более длительными ротациями. Основным преимуществом микроротационных плантаций являются высокие урожаи биомассы, обеспечивающие их экономическую эффективность [47].

Возделывание быстрорастущих лиственных видов имеет также существенный экологический эффект [46]. В Германии через 12 лет после посадки клонов ивы и тополя на бывших пахотных землях содержание органического углерода и общего азота в верхнем слое почвы увеличилось соответственно на 4,0 и 0,2 г/кг, при этом рН был значительно ниже под клонами ивы при сравнении с клонами тополя [49]. Названные виды используют также при мелиорации и рекультивации нарушенных земель [2, 54]. Различие видов по почвоулучшающим свойствам было установлено даже в пределах рода, например, на бедных песчаных почвах положительное влияние ольхи зеленой (*Alnus viridis* (Chaix) D.C.) было менее выражено в сравнении с ольхой черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) [31].

Помимо изучения почвоулучшающей роли насаждений мелколиственных видов, в России существует проблема оценки их углерод-депонирующей способности на землях, вышедших из-под сельскохозяйст-

венного пользования в 1990-е годы [1, 5, 12]. Экспансия мелколиственных видов наблюдается не только на бывших пахотных землях, но и в связи с изменением климата: осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) замещает березу Черепанова (*Betula pubescens* Ehrh. ssp. *czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti в субарктическом экотоне Швеции [80], и происходит активная экспансия ольхи зеленой в высотном экотоне в Альпах [20].

Ива, тополь, ольха серая и береза являются пионерными древесными видами, способными к регенерации от пней и корневых отпрысков и хорошо приспособлены к условиям произрастания, преобладающим в умеренных и бореальных регионах [69]. Сравнительное исследование скорости роста и эффективности превращения солнечной радиации в химическую энергию в условиях Скандинавии показало, что ива достигает годичной продукции 10 т/га в течение 4 лет, а тополь, ольха серая, береза, ель европейская (*Picea obovata* L.) и бук (*Fagus sylvatica* L.) соответственно в течение 7, 10, 17, 25 и 80 лет [33].

Для оценки углерод-депонирующей способности лесов активно разрабатываются аллометрические модели биомассы деревьев, выраженные степенной функцией [55]. Исследовано множество структур подобных моделей, включающих в качестве независимых переменных различные комбинации диаметра ствола, высоты дерева и длины живой кроны, но они практически не повышали точность оценок биомассы по сравнению с аллометрической ее зависимостью от диаметра ствола, имеющей биологическую интерпретацию [59, 60]. Аллометрические модели разработаны по большей части для деревьев среднего и крупного размера, имеющих диаметр ствола на высоте груди более 12–15 см [48, 55, 75]. По мере снижения высоты дерева указанный диаметр смещается в верхнюю часть ствола, становится более изменчивым, а оценка биомассы по соответствующей аллометрической мо-

дели – смещенной [16]. Наименьшей изменчивостью и наибольшей точностью при оценке биомассы характеризуется диаметр на 1/3 высоты ствола [14], совпадающей с положением его центра тяжести [41], но использование его проблематично при перерасчете деревьев и определении биомассы на единице площади.

С другой стороны, массовое производство микроротационных (энергетических) плантаций стимулировало оценку биомассы деревьев на начальных этапах роста по диаметру у основания ствола (D_0) [4, 26, 45, 47, 56, 62]. Поскольку с возрастом дерева у основания ствола формируется корневой наплыв, диаметр у основания ствола становится довольно изменчивым, а его измерение – проблематичным. Поэтому у молодых деревьев на микроротационных плантациях одни исследователи измеряют диаметр у основания ствола D_0 , а другие – на некотором расстоянии от него (от 10 до 50 см) [7, 64]. Поскольку при этом результаты становятся не сопоставимыми, вводятся поправочные коэффициенты для приведения диаметра, измеренного на разных высотах, к величине диаметра D_0 . Для лиственных видов при расстоянии от основания ствола 5, 10, 50 и 130 см предложены коэффициенты соответственно 1,08; 1,16; 1,33 и 1,45 [19].

Экспериментальные данные о биомассе деревьев, полученные на пробных площадях, представлены довольно громоздкими таблицами [18], они редко приводятся в научных статьях, обычно хранятся в архивах исследователей и с их уходом теряются для науки. В большинстве случаев информация о биомассе деревьев дается в сжатом виде в форме аллометрических моделей зависимости биомассы от диаметра ствола и/или высоты дерева, и таких моделей насчитываются уже десятки тысяч [55]. В этих моделях скрыта огромная информация, и игнорирование ее в наступившей эре больших данных (Big Data Era), искусственного интеллекта и нейронных сетей [18, 53] было бы неправомерно. Сегодня предлагается стандартизированный словарь, который позволяет объединять наборы данных о свойствах биологических объектов из разнородных источников и облегчает создание интерфейсов между программными средствами для обработки и анализа таких данных [71], и осознается необходимость систематизации данных о свойствах биологических объектов и управления ими для повторного использования [51].

Наличие упомянутых сводок аллометрических моделей предоставляет возможность выбора той из них, область применения которой наиболее близка к интересующему региону. Однако такие сводки часто являются неполными с точки зрения охвата различных древесных видов в разных экологических условиях, в них могут отсутствовать уравнения для интересующих географических районов или не учитываться различия, касающиеся того или иного фракционного состава биомассы [40].

В этой связи, а также из-за чрезвычайно высокой трудоемкости получения эмпирических данных на пробных площадях получила распространение разработка обобщающих (generic, generalized) моделей биомассы на основе мета-анализа как способа объединения результатов независимых исследований [17, 18, 30, 37, 44, 61, 68]. Мета-моделирование расширяет доступность данных из разных регионов, поскольку при отсутствии исходных данных специфичную для регионов информацию можно извлечь из опубликованных моделей путем генерирования псевдоданных. Аллометрические мета-модели биомассы деревьев могут давать на региональном уровне среднюю ошибку около 8–11% [64] и среднее смещение оценок около 2% [11], что сопоставимо с точностью получения исходных данных на пробных площадях [28]. Тем не менее, сегодня мнения исследователей разделились: одни считают некорректной экстраполяцию обобщенных моделей биомассы на другие регионы [58, 84], другие единодушны в выводе о возможном широком использовании обобщенных уравнений зависимости биомассы лишь от диаметра ствола [39, 63, 73, 74, 76].

Наряду с мета-моделированием биомассы в пределах одного вида предлагаются обобщения более высокого уровня, когда в одной модели объединяются данные по нескольким видам [29, 85]. Подобным обобщающим моделям дается теоретическое обоснование в виде фрактальной модели [83], теории метаболического масштабирования [82] или теории адаптивного распределения масс [66], и модель адресуется всему видовому сообществу той или иной группы. Видоспецифичная мета-модель предпочтительна, когда требуется точная оценка биомассы для того или иного вида [35]. Мета-модели, синтезирующие данные биомассы нескольких древесных видов, могут быть использованы не только для прогнозирования биомассы тех видов, для которых пока нет специальных аллометрических моделей [64], но могут применяться также для оценки биомассы в многовидовых экосистемах крупных регионов [34]. Тем не менее, использование многовидовой мета-модели имеет ограничения, связанные с климатом, местоположением, видовым составом и плотностью древесины, и может привести к существенным смещениям [30].

Варьирование разных фракций биомассы деревьев неоднозначно. Например, массы кроны и стволов формируются за различные промежутки времени, варьируют в связи с возрастом дерева с противоположными знаками [13] и при оценке массы всего дерева по его линейному размеру, коррелирующему с возрастом, противоположные знаки изменчивости разных фракций взаимно компенсируются, обеспечивая объясненную изменчивость биомассы дерева в целом на уровне 95% и выше [15, 72]. Поэтому обобщающие модели предлагаются исключительно для наземной биомассы деревьев [29, 38, 82].

В этой связи представляет интерес разработка обобщающих моделей надземной биомассы деревьев быстрорастущих видов посредством мета-анализа как фактических, так и ранее опубликованных и «восстановленных» псевдо-данных биомассы, связанных с диаметром у основания ствола. Назначение подобных моделей – оценка биомассы в микроротационных (энергетических) плантациях быстрорастущих видов, выращиваемых в соответствующих климатических условиях. В то же время известно, что различные фракции биомассы имеют разное содержание элементов питания и разную интенсивность их круговорота [70]. Поэтому, наряду с разработкой всеобщих моделей надземной биомассы деревьев, необходима информация о вкладах разных фракций биомассы в надземную биомассу дерева.

В данном исследовании мы намерены:

- 1) сформировать базу эмпирических данных, а также псевдоданных, восстановленных путем табулирования аллометрических моделей биомассы родов *Salix* L., *Populus* L. и *Alnus* L. в известных диапазонах диаметра ствола по имеющимся опубликованным источникам;
- 2) выполнить сравнительный анализ аллометрических мета-моделей надземной биомассы трех названных родов с целью установить приемлемый уровень обобщения модели: или единой для трех родов, или специфичной для каждого рода в отдельности;
- 3) выполнить анализ смещений при оценке надземной биомассы деревьев посредством мета-моделей относительно исходных данных;
- 4) разработать модели для оценки фракционного состава биомассы деревьев трех родов по значениям надземной биомассы, полученным по ее мета-моделям.

Материалы и методы исследования

Исходные материалы для нашего мета-анализа представлены как фактическими значениями биомассы, полученными на пробных площадях, так и метаданными (псевдоданными), полученными путем табулирования ранее опубликованных аллометрических моделей биомассы по задаваемым значениям диаметра ствола в известных диапазонах варьирования исходных данных. Их характеристика дана в табл. 1.

Все данные получены на территории зон бореальных и умеренных лесов Евразии и Северной Америки и представлены всем многообразием видового состава родов *Salix*, *Populus* и *Alnus* (табл. 1). Поэтому наш дальнейший анализ биомассы деревьев будет выполнен на уровне трех названных родов. В основном представлены данные о надземной биомассе, реже – о фракционном составе биомассы и исключительно редко – о биомассе корней (табл. 1). Поскольку во

многих источниках были замерены диаметры ствола лишь на высоте груди, для наших моделей был выполнен расчет диаметров у основания по известному диаметру на высоте груди согласно модели, объясняющей 99% изменчивости соответствующей переменной (см. сноску в табл. 1).

Исходные данные надземной биомассы деревьев в связи с диаметрами стволов нами обработаны по программе стандартного регрессионного анализа ([http://www.statgraphics.com/for more information](http://www.statgraphics.com/for%20more%20information)).

Результаты и их обсуждение

С целью установить приемлемый уровень обобщения моделей, исходные данные, представленные в табл. 1, обработаны согласно структуре модели смешанных эффектов (mixed-effects modelling) [16, 43]:

$$\ln Pa = a_0 + \sum a_i X_i + b \ln D_0, \quad (1)$$

где: Pa – надземная биомасса дерева, кг; D_0 – численная переменная, а именно, диаметр у основания ствола, см; $\sum a_i X_i$ – блок фиктивных (индикаторных) переменных в количестве $(i + 1)$, кодирующий исследуемые древесные роды согласно схеме (табл. 2). Специфика фиктивных переменных состоит в том, что они «не обладают смыслом собственного существования, а светят отраженным светом глубинных сущностей» [18. С. 213].

Поскольку регрессионный коэффициент b при переменной $\ln D_0$ может быть специфичным для каждого рода, в модель ввели комбинированные переменные ($X_1 \times \ln D_0$) и ($X_2 \times \ln D_0$) и в результате расчета получили:

$$\ln Pa = -3,5788 + 2,6112 \ln D_0 + 0,4302 X_1 + 0,1754 X_2 - 0,0977 X_1 \times \ln D_0 - 0,0106 X_2 \times \ln D_0. \quad (2)$$

Оказалось, что в уравнении (2) регрессионные коэффициенты при переменных $\ln D_0$, X_1 и $X_1 \times \ln D_0$ значимы на уровне $p < 0,0001$, при переменной X_2 – на уровне $p < 0,004$, а при переменной $X_2 \times \ln D_0$ – на уровне $p < 0,62$. В последнем случае комбинированная переменная статистически не значима ($t = 0,49 < t_{95} = 1,96$). Таким образом, на статистически значимом уровне зависимости биомассы от диаметра ствола различаются для *Salix* и *Populus* по величине свободного члена и регрессионного коэффициента, а для *Salix* и *Alnus* – по величине свободного члена, что исключает возможность построения модели, обобщенной для трех родов.

Поэтому рассчитаны модели (3),

$$\ln Pa = a + b \ln D_0. \quad (3)$$

Они специфичны для каждого рода и объясняют около 99% изменчивости биомассы дерева, что близко к функциональной связи (табл. 3).

Графики распределения остатков моделей (3) свидетельствуют о равномерности их распределения и об отсутствии корреляций (рис. 1).

Согласно фрактальной модели Г. Веста [83], представляющей симбиоз теорий пайп-модели и фракталов, надземная биомасса дерева связана с диаметром ствола при значении регрессионного коэффициента b , равном $8/3$, или $2,67$. В результате анализа мировой сводки 279 аллометрических моделей, взятых из 190 источников, было получено значение b , равное $2,37$ [87], и результирующая эмпирическая модель давала более точную оценку надземной биомассы при сравнении с теоретической моделью Г. Веста. В на-

ших моделях (3) регрессионные коэффициенты b варьируют от $2,53$ до $2,61$, то есть в диапазоне между соответствующими значениями теоретической [83] и эмпирической [87] аллометрических моделей.

Хотя полученные мета-модели объясняют 99% варьирования исходных псевдоданных, имеются систематические смещения последних относительно значений биомассы, полученных по мета-моделям (3), при соответствующих стандартных отклонениях (табл. 4). Однако величина смещений в среднем составляет лишь около 2%, и в случаях применения мета-модели при таксации насаждений трех исследуемых родов в регионах ими можно пренебречь.

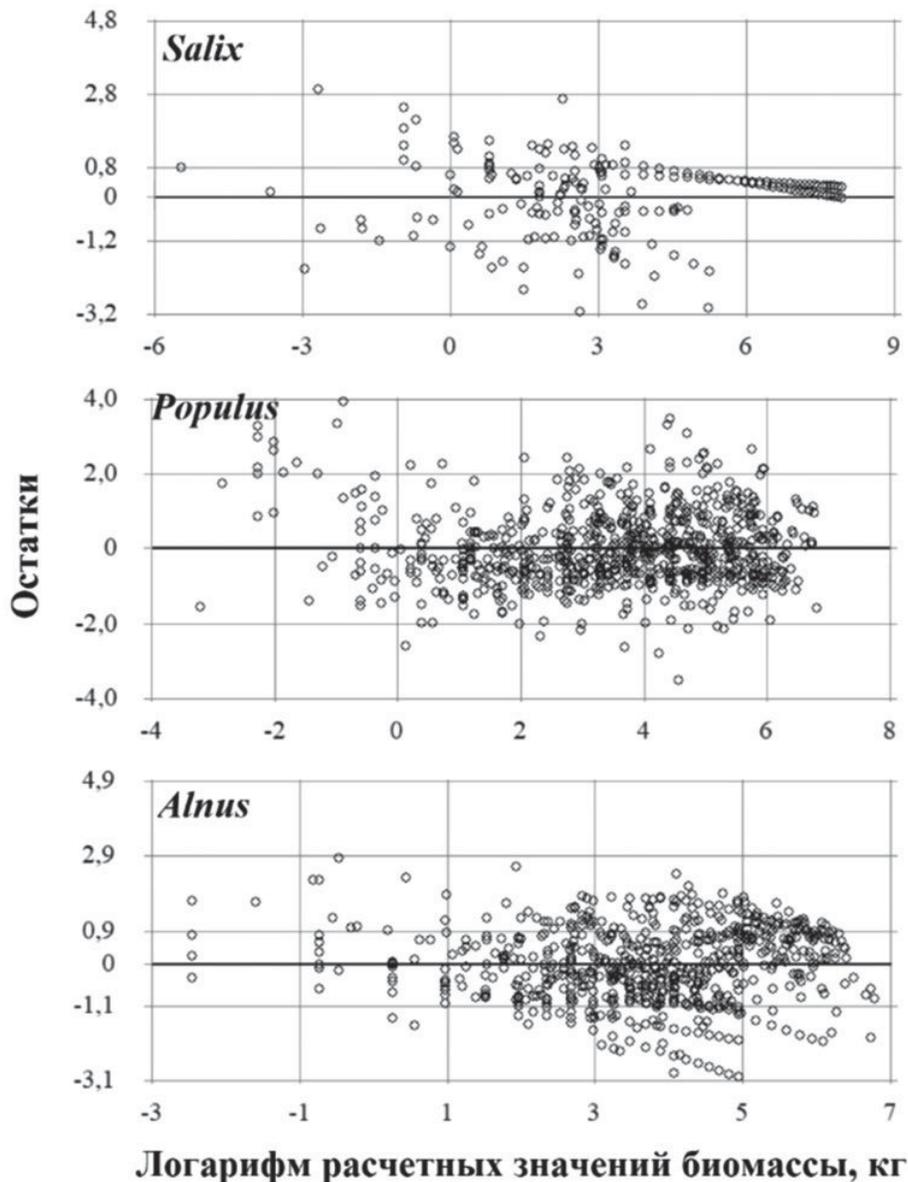


Рис. 1. Распределение остатков моделей (3)

Табл. 1

Характеристика исходных данных по *Salix L.*, *Populus L.* и *Alnus L.*, включенных в мета-анализ

Вид	Страна или регион	Источник	Форма представления данных	Диапазоны							Объем исходной выборки	
				биомассы, кг			диаметра у основания ствола, см					
				листья	ветвей	ствола	надземной	корней				
<i>Salix</i>												
<i>S. caprea</i> , <i>borealis</i>	Северо-запад России	[10]	Фактические	0,06–1,1	0,18–9,3	1,3–20,0	1,6–40,3	–	–	–	5,5–19,2	52
<i>S. caprea</i>	Центр европейской части России	[79]	Фактические	0,02–4,4	0,02–27,8	0,09–74,6	0,1–102,1	0,03–5,9	–	–	1,4–29,1*	22
<i>S. caprea</i>	Словакия	[62]	Модель	0,002–0,47	0,001–1,0	0,002–1,56	0,01–3,1	0,001–0,62	–	–	0,5–7,0	8**
<i>S. nigra</i>	США	[86]	Модель	0,2–6,5	0,40–12,5	0,9–109	1,3–128,0	0,5–38,0	–	–	4,1–29,5*	8**
<i>S. bebbiana</i>	США	[65]	Модель	0,16–4,4	–	1,5–81,1	2,03–113,3	–	–	–	5,4–24,8*	9**
<i>Salix sp.</i>	США	[67]	Модель	0,1–1,0	0,20–2,0	0,33–8,45	0,6–11,5	–	–	–	2,8–10,4*	7**
<i>Salix sp.</i>	США	[36]	Модель	–	–	–	0,6–1925	–	–	–	2,8–70,4*	35**
<i>S. nigra</i>	США	[36]	Модель	–	–	–	2,7–23,5	–	–	–	5,4–15,3*	9**
<i>S. discolor</i> , <i>alba</i> , <i>dasyclados</i>	США	[21]	Модель	–	–	–	0,5–2953	–	–	–	2,8–81,5*	35**
<i>Populus</i>												
<i>P. tremula</i>	Европейская часть России	[79]	Фактические	0,01–12,2	0,02–86,1	0,1–413	0,2–512	1,2–27,2	–	–	1,4–41,6*	81
<i>P. tremula</i>	Тургайский прогиб, Казахстан	[79]	Фактические	0,1–9,6	0,3–60,6	1,6–269	2–422	–	–	–	4,7–39,2*	38
<i>P. tremula</i>	Казахский мелкосопочник, Казахстан	[79]	Фактические	0,1–17,6	0,2–347	3,8–486	45–830	–	–	–	6,5–54,4*	79
<i>P. tremula</i>	Западная Сибирь, Россия	[79]	Фактические	0,03–10,2	0,1–94,8	0,2–481	0,1–572	–	–	–	1,0–42,2*	144
<i>P. tremula</i>	Средняя Сибирь, РФ	[79]	Фактические	0,01–9,7	0,01–83,5	0,06–500	0,2–574	–	–	–	1,2–45,6*	92
<i>P. tremula</i>	Украина	[79]	Фактические	0,04–38,6	0,06–275	0,1–551	0,2–1065	–	–	–	1,6–50,3*	257
<i>P. tremuloides</i>	США	[86]	Модель	0,1–1,1	0,1–2,1	0,8–15,8	1,0–19,0	0,4–5,3	–	–	4,1–11,6*	25**
<i>P. tremula</i>	Словакия	[62]	Модель	0,01–0,48	0,01–2,6	0,02–7,8	0,03–10,3	0,01–1,9	–	–	1,0–9,0	9**
<i>P. deltoids</i>	Индия	[22]	Модель	0,02–30,0	0,3–155	0,3–229	0,6–409	–	–	–	2,8–34,1*	14**
<i>P. grandidentata</i>	США	[59]	Модель	0,01–4,3	0,01–10,6	0,1–32,0	0,1–46,9	–	–	–	1,4–13,5*	13**
<i>Populus</i> гибрид	США	[59]	Модель	0,03–4,2	0,03–16,9	0,1–29,5	0,2–50,6	–	–	–	1,4–17,7*	14**
<i>P. grandidentata</i>	Канада	[42]	Модель	–	–	–	0,5–430	–	–	–	2,8–41,1*	17**
<i>P. tremuloides</i>	Канада	[42]	Модель	–	–	–	0,5–126	–	–	–	2,8–24,8*	10**
<i>P. tremuloides</i>	Канада	[52]	Модель	–	–	–	0,4–461	–	–	–	2,8–41,1*	17**
<i>P. tremuloides</i>	США	[67]	Модель	–	–	–	0,4–71,9	–	–	–	2,8–18,9*	14**
<i>P. tremuloides</i>	Канада	[27]	Модель	–	–	–	2,9–386	–	–	–	5,4–38,8*	15**

<i>Alnus</i>										
<i>A. incana</i>	Европейская часть России	[79]	Фактические	0,05–5,7	0,09–26,5	1,1–119	1,8–151	0,5–15,5	4,6–27,4*	22
<i>A. incana</i>	Латвия	[79]	Фактические	0,06–6,3	0,2–57,3	3,2–210	3,5–274	1,1–76,2	6,0–34,3*	9
<i>A. glutinosa</i>	Украина	[79]	Фактические	0,1–11,4	0,1–93,1	0,8–704	1,0–740,0	–	3,1–50,3*	406
<i>A. glutinosa</i>	Белоруссия	[79]	Фактические	0,1–1,3	1,4–13,3	18,8–146	20,3–158,9	–	13,1–26,8*	30
<i>A. glutinosa</i>	Литва	[79]	Фактические	0,1–8,6	0,3–59,6	3,5–521	3,9–589,0	–	5,4–41,1*	31
<i>A. hirsuta</i>	Приморье, Россия	[79]	Фактические	0,6–7,3	5,1–41,6	21–248	26,9–293,0	–	12,5–38,5*	7
<i>A. inokumae</i>	Япония	[79]	Фактические	0,6–2,3	1,5–4,1	3,7–12,8	6,1–17,8	1,3–1,9	7,2–13,4*	12
<i>A. rugosa</i>	США	[86]	Модель	0,2–0,7	0,3–1,7	0,8–13,3	1,3–15,7	0,4–4,4	4,1–11,6*	11*
<i>A. incana</i>	Эстония	[77]	Модель	–	–	–	0,1–167	–	1,4–24,8*	20**
<i>A. rugosa</i>	США	[67]	Модель	0,1–0,6	0,2–1,5	0,3–9,8	0,6–11,9	–	2,8–10,4*	7**
<i>A. sinuata</i>	Канада	[25]	Модель	–	–	–	0,5–8,5	–	2,8–9,2*	6**
<i>A. rubra</i>	США	[45]	Модель	0,01–3,7	0,01–11,7	0,04–20,4	0,1–34,0	–	1,0–15,0	15**

* Значения D_0 получены расчетным способом по уравнению $\ln D_0 = 0,36738 + 0,94932 \ln D_{i,3}$; $R^2 = 0,99$ [32]. ** Объем исходной выборки получен путем табулирования модели по задаваемым значениям диаметра ствола в пределах диапазона фактических данных.

Табл. 2

Кодирование трех родов фиктивными переменными

Род	Фиктивные переменные	
	X_1	X_2
<i>Salix</i>	0	0
<i>Populus</i>	1	0
<i>Alnus</i>	0	1

Табл. 3

Результаты расчета модели (3)

Род	Показатели		
	a^*	b	$adjR^2$ SE*
<i>Salix</i>	-3,5614	2,6118	0,992 0,22
<i>Populus</i>	-3,1550	2,5338	0,989 0,20
<i>Alnus</i>	-3,3852	2,6012	0,985 0,20

* Свободный член здесь и далее скорректирован на логарифмическое преобразование [23]; $adjR^2$ - коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE - стандартная ошибка уравнения.



Табл. 4

Стандартные отклонения и смещения региональных данных надземной биомассы относительно значений, полученных табулированием мета-модели

<i>Salix</i>			<i>Populus</i>			<i>Alnus</i>		
Источник и страна	SD*	Смещение	Источник и страна	SD	Смещение	Источник и страна	SD	Смещение
[10] РФ	24,6	-5,7 ± 3,4	[79] РФ	11,4	5,8 ± 1,8	[79] РФ	15,0	21,4 ± 3,2
[79] РФ	23,5	10,8 ± 5,0	[79] РФ	16,7	17,2 ± 1,9	[79] РФ	10,9	-3,1 ± 3,6
[62] Словакия	14,8	-19,1 ± 5,2	[79] РФ	15,9	-0,2 ± 1,3	[79] РФ	17,1	-3,6 ± 0,8
[86] США	22,9	-13,5 ± 8,1	[79] РФ	24,4	4,7 ± 2,8	[79] РФ	10,3	11,2 ± 1,8
[65] США	1,5	-8,6 ± 0,5	[79] РФ	22,6	-0,6 ± 2,4	[79] РФ	6,5	-22,3 ± 1,1
[67] США	23,5	14,8 ± 8,9	[79] РФ	18,5	-6,7 ± 1,2	[79] РФ	25,3	-2,2 ± 9,5
[48] США	9,4	11,8 ± 1,6	[86] США	21,7	-7,1 ± 4,9	[79] РФ	19,9	18,5 ± 5,7
[36] США	18,0	-10,9 ± 6,0	[62] Словакия	11,6	19,4 ± 3,8	[86] США	24,2	0,5 ± 13,9
[21] США	2,3	11,0 ± 0,4	[22] Индия	4,4	-17,1 ± 1,2	[77] Эстония	22,7	22,1 ± 2,3
-	-	-	[42] Канада	2,5	16,3 ± 0,6	[67] США	13,5	10,2 ± 5,1
-	-	-	[42] Канада	0,5	13,6 ± 0,1	[25] Канада	8,5	13,2 ± 3,5
-	-	-	[52] Канада	7,4	18,9 ± 1,8	[45] США	12,5	-3,8 ± 3,4
-	-	-	[67] США	12,4	16,7 ± 3,3	[45] США	25,7	17,1 ± 6,6
-	-	-	[27] Канада	3,8	9,9 ± 0,9	-	-	-
-	-	-	[59] США	7,5	9,5 ± 2,1	-	-	-
-	-	-	[59] США	14,9	10,5 ± 4,0	-	-	-
В целом	20,5	2,2 ± 1,5	В целом	19,7	1,7 ± 0,7	В целом	21,0	2,0 ± 0,8

* SD – стандартное отклонение.

Табл. 5

Характеристика моделей (4)

Род	Зависимая переменная*	Регрессионные коэффициенты мета-моделей		adjR ²	SE
		<i>a</i>	<i>b</i>		
<i>Salix</i>	ln <i>P_f</i>	-2,0356	0,6706	0,819	0,55
	ln <i>P_b</i>	-1,5595	0,9668	0,949	0,39
	ln <i>P_s</i>	-0,4554	1,0616	0,993	0,15
	ln <i>P_r</i>	-1,2508	1,0304	0,991	0,22
<i>Populus</i>	ln <i>P_f</i>	-2,4549	0,7792	0,900	0,51
	ln <i>P_b</i>	-2,0314	1,0352	0,941	0,50
	ln <i>P_s</i>	-0,2457	1,0095	0,996	0,12
	ln <i>P_r</i>	-1,4521	0,9932	0,976	0,37
<i>Alnus</i>	ln <i>P_f</i>	-1,8819	0,5980	0,704	0,55
	ln <i>P_b</i>	-1,8477	0,8695	0,870	0,47
	ln <i>P_s</i>	-0,2864	1,0363	0,997	0,08
	ln <i>P_r</i>	-1,2545	0,9405	0,929	0,30

* *P_f*, *P_b*, *P_s* и *P_r* – соответственно биомасса листьев, ветвей, ствола и корней, кг.

Поскольку моделей, характеризующих связь каждой фракции биомассы с диаметром ствола (см. табл. 1), обычно меньше, чем данных наземной биомассы, особенно при ее оценке в энергетических плантациях, модели для фракционного состава мы рассчитали, используя наземную биомассу в качестве независимой переменной. Применен рекурсивный принцип построения цепочки двух связанных моделей [78], первое звено которой представлено моделями (3), а второе рассчитано по данным табл. 1 и имеет общий вид:

$$\ln(P_i) = a + b \ln P_a. \quad (4)$$

Характеристика полученных расчетом моделей (4) дана в табл. 5.

Расчетные значения фракций биомассы в связи с диаметром ствола у его основания можно получить последовательным табулированием рекурсивной системы моделей: вначале табулируются модели (3) по задаваемым значениям D_0 , а затем табулируется модель (4) по расчетным значениям наземной биомассы. Как и в результатах других авторов [57], коэффициент детерминации для массы листвы оказался ниже по срав-

нению с коэффициентами для остальных фракций. Причина в том, что ассимиляционный аппарат более чутко реагирует на изменение внешних условий при сравнении с другими фракциями биомассы [9], что обуславливает повышенный информационный «шум».

Графическая интерпретация мета-моделей фракционного состава биомассы (см. табл. 5) на фоне исходных данных, наглядно подтверждающая их высокую адекватность, показана на рис. 2.

Мета-модели (3) и (4) могут быть совмещены с традиционными таксационными нормативами, ориентированными на оценку биомассы и углерод-депонирующей способности трех исследованных родов по диаметру ствола на высоте груди. Для этого можно ввести поправочный коэффициент по соотношениям $D_{1,3} = 0,69D_0$ [19] или $\ln D_{1,3} = -0,35031 + 1,03991 \ln D_0$ ($R^2 = 0,99$) [32]. В случае необходимости обеспечения повышенной точности при использовании мета-модели может быть выведено соотношение $D_{1,3}$ и D_0 , учитывающее региональные особенности формы нижней части стволов деревьев [3, 8, 62].

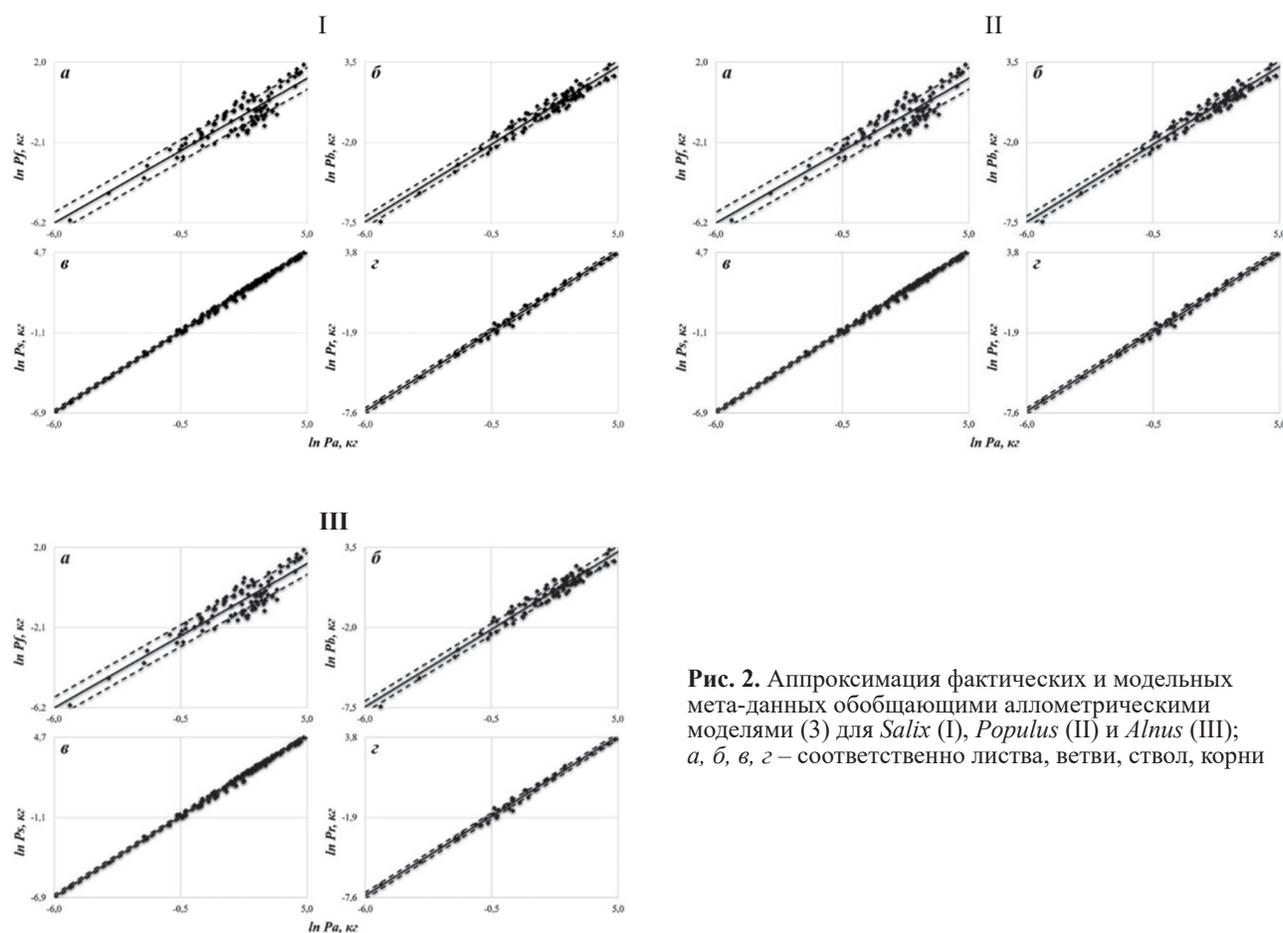


Рис. 2. Аппроксимация фактических и модельных мета-данных обобщающими аллометрическими моделями (3) для *Salix* (I), *Populus* (II) и *Alnus* (III); а, б, в, г – соответственно листва, ветви, ствол, корни

Заклучение

Таким образом, на основе эмпирических данных о биомассе деревьев и восстановленных псевдоданных (мета-данных), полученных путем табулирования опубликованных моделей биомассы, построены мета-модели, предназначенные для оценки биомассы деревьев быстро растущих мелколиственных родов (*Salix* L., *Populus* L., *Alnus* L.) в миниротационных (энергетических) плантациях по известному диаметру ствола у его основания.

Предложенные мета-модели объясняют около 99% изменчивости надземной биомассы и характеризуются незначительными смещениями (в среднем около 2%) от исходных значений. Мета-модели биомассы фракций, связанные с мета-моделями надземной биомассы по рекурсивному принципу, объясняют изменчивость массы листьев, ветвей, стволов и корней соответственно на 70–90; 87–95; 99,3–99,7 и 93–99%.

Предложенные мета-модели надземной биомассы деревьев могут быть применены в регионах, для которых отсутствуют локальные фактические данные и аллометрические модели биомассы, при этом с учетом возможных неопределенностей, вызванных неучтенными местными особенностями местопроизрастаний. При введении в модели корректировочного коэффициента, учитывающего форму нижней части

ствола, они могут быть использованы также для оценки углерод-депонирующей способности не только энергетических плантаций, но и насаждений управляемых лесов по данным таксации. Нужно иметь в виду, что только на совокупности объектов в пределах того или иного региона возможные смещения могут быть ограничены величиной 2% вследствие компенсации положительных и отрицательных локальных смещений биомассы.

Поскольку при отборе результатов предыдущих исследований для включения их в мета-модель и при формировании псевдо-выборок нами не использованы методы формализации процесса [18], полученные результаты, по-видимому, потребуют последующего уточнения.

Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственных заданий ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства, регистрационный номер тем АААА-А18-118030290042-6, 1022040100465-9-4.1.2; конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья» по гранту № 01Ф-02-08/558, а также в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Балашкевич ЮА. Заращение бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006;13:4-6.
2. Баранник ЛП. Экологическая пригодность древесных и кустарниковых пород для лесной рекультивации в Кузбассе. В кн.: Трофимов СС, ред. Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука; 1977. С. 120-38.
3. Вайс АА. Форма нижней части стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и возраст деревьев в условиях Западно-Сибирского подтаежно-лесостепного района. Вестн Алтайск гос аграрн ун-та. 2013;110(12):61-4.
4. Горобец АИ, Лихацкий ЮП. Влияние почвенно-гидрологических условий на продуктивность микроротационной плантации ивы корзиночной. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2016;4:98-108.
5. Гульбе ЯИ. Динамика биологической продуктивности южнотаежных древостоев ольхи серой (на примере Ярославской области): Автореф. канд. дисс. М.; 2012.
6. Дрейпер Н, Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика; 1973.
7. Логинова ЛА. Продуктивность и энергетический потенциал ивовых ценозов на примере Воронежской области. Автореф. канд. дисс. Воронеж; 2010.
8. Марцинковский ЛА. О зависимости между диаметрами деревьев лиственницы на высоте пня и на высоте груди. В кн.: Лиственница: Сборник научных трудов. Красноярск: СТИ; 1964. С. 15-7.
9. Мякушко ВК, Вольвач ФВ, Плюта ПГ. Экология сосновых лесов. Киев: Урожай; 1989.
10. Парамонов АА, Усольцев ВА, Третьяков СВ и др. Биомасса деревьев ивы и ее аллометрические модели в условиях Архангельской области. Леса России и хозяйство в них. 2022; 4:10-19.
11. Парамонов АА, Усольцев ВА, Третьяков СВ и др. Всеобщие модели фитомассы деревьев ивы (род *Salix* L.): мета-анализ. Лесной журнал. 2023. (В печати).

12. Перепечина ЮИ, Глушенков ОИ, Корсииков РС. Оценка лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения в Брянской области. Лесотехнический журнал. 2015;1:74-84.
13. Усольцев ВА. Вес кроны березы и осины в насаждениях Северного Казахстана. Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1972;4:77-80.
14. Усольцев ВА. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та; 1985. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>).
15. Усольцев ВА. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука; 1988. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352>).
16. Усольцев ВА, Колчин КВ, Воронов МП. Фиктивные переменные и смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев (на примере *Picea L.*). Эко-потенциал. 2017;17(1):22-39.
17. Усольцев ВА, Шубайри СОР, Дар ДА и др. Проблемы оценки биопродуктивности лесов в аспекте биогеографии: мета-анализ как способ обобщения результатов независимых исследований. Эко-потенциал. 2017; 20(4):10-34. (https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/7016/1/ek-4-17_03.pdf).
18. Шитиков ВК, Розенберг ГС, Крамаренко СС, Якимов ВН. Современные подходы к статистическому анализу экспериментальных данных. В кн.: Розенберг ГС, Гелашвили ДБ, ред. Проблемы экологического эксперимента (планирование и анализ наблюдений). Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна, 2008. С. 212-50.
4. Gorobets AI, Likhatsky YuP. [The influence of soil-hydrological conditions on the productivity of micro-rotational plantation of basket willow]. Trudy Sankt-Peterburgskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Lesnogo Khozyaystva. 2016;4:98-108. (In Russ.)
5. Gulbe YaI. [Dynamics of Biological Productivity of Southern Taiga Stands of Gray Alder in Yaroslavl Region]. PhD Theses. Moscow; 2012. (In Russ.)
6. Draper N, Smith G. Applied Regression Analysis. New York: Wiley, 1966.
7. Loginova LA. [Productivity and Energy Potential of Willow Cenoses in Voronezh Region]. PhD Theses. Voronezh; 2010. (In Russ.)
8. Martsinkovsky LA. [On the relationship between the diameters of larch trees at the height of the stump and at the breast height]. In: Listvennitsa: Sbornik Nauchnykh Trudov. Krasnoyarsk: 1964. P. 15-7. (In Russ.)
9. Miakushko VK, Volvach FV, Pliuta PG. Ekologiya Sosnovykh Lesov. [Ecology of Pine Forests]. Kiev: Urozhay; 1989. (In Russ.)
10. Paramonov AA, Usoltsev VA, Tretyakov SV et al. [Willow tree biomass and its allometric models in the conditions of the Arkhangelsk Region]. Lesa Rossii i Khozyaystvo v Nikh. 2022;4:10-19. (In Russ.)
11. Paramonov AA, Usoltsev VA, Tretyakov SV et al. [Generic models of willow (genus *Salix L.*) tree biomass: A meta-analysis]. Lesnoy Zhurnal. 2023. In press. (In Russ.)
12. Perepechina YuI, Glushenkov OI, Korsnikov RS. [Assessment of forests located on agricultural lands in Bryansk Region]. Lesotekhnicheskii Zhurnal. 2015;1:74-84. (In Russ.)
13. Usoltsev VA. [Weight of birch and aspen crowns in forests of Northern Kazakhstan]. Vestnik Selskokhozyaystvennoy Nauki Kazakhstana. 1972;4:77-80. (In Russ.)

Общий список литературы/Reference List

1. Balashkevich YuA. [Overgrowing of former agricultural lands with woody vegetation]. Aktualnye Problemy Lesnogo Kompleksa. 2006;13:4-6. (In Russ.)
2. Barannik LP. [Ecological suitability of tree and shrub species for forest recultivation in Kuzbass]. In: Trofimov SS, ed. Vosstanovleniye Tekhnogennykh Landshaftov Sibiri. [Restoration of Technogenic Landscapes of Siberia]. Novosibirsk: Nauka; 1977. P. 120-38. (In Russ.)
3. Weiss AA. [The shape of the lower part of the trunks of the common pine (*Pinus sylvestris L.*) and the age of trees in the conditions of the West Siberian subtaiga-forest-steppe region]. Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2013;110(12):61-4. (In Russ.)
4. Usoltsev VA. Modelirovaniye Struktury i Dinamiki Fitomassy Drevostoyev. [Modeling of the Structure and Dynamics of Stand Biomass]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk University; 1985. (In Russ.)
5. Usoltsev VA. Rost i Struktura Fitomassy Drevostoyev. [Growth and Structure of Tree Stands Biomass]. Novosibirsk: Nauka; 1988. (In Russ.)
6. Usoltsev VA, Kolchin KV, Voronov MP. [Dummy variables and biases of generic allometric models in the local assessment of tree biomass (as exemplified with *Picea L.*)]. Eco-potential. 2017;17(1):22-39. (In Russ.)
7. Usoltsev VA, Shubairi SOР, Dar A et al. [Problems of forest bioproductivity assessment in the aspect of biogeography: a meta-analysis as a way

- to generalize the results of independent researches]. Eco-potential. 2017;20(4):10-34. (In Russ.)
18. Shitikov VK, Rosenberg GS, Kramarenko SS, Yakimov VN. [Modern approaches to statistical analysis of experimental data]. In: Rosenberg GS, Gelashvili DB, eds. Problemy Ekologicheskogo Eksperimenta (Planirovanie i Analiz Nabliudeniya). [Problems of Ecological Experiment (Planning and Analysis of Observations)]. Togliatti: Institute of Ecology of the Volga Basin; 2008 P. 212-50. (In Russ.)
 19. Annighöfer P, Ameztegui A, Ammer Ch et al. Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species. Eur J For Res. 2016;135:313-29.
 20. Anthelme F, Grossi J-L, Brun J-J, Didier L. Consequences of green alder expansion on vegetation changes and arthropod communities removal in the northern French Alps. For Ecol Manag. 2001;145:57-65.
 21. Arevalo CBM, Volk TA, Bevilacqua E, Abrahamson L. Development and validation of aboveground biomass estimations for four *Salix* clones in central New York. Biomass Bioenergy. 2007;31:1-12.
 22. Arora G, Chaturvedi S, Kaushal R et al. Growth, biomass, carbon stocks, and sequestration in an age series of *Populus deltoides* plantations in Tarai region of central Himalaya. Turk J Agric For. 2014;38:550-60.
 23. Baskerville GL. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can J Forest Res. 1972;2(1):49-53.
 24. Berndes G, Hoogwijk M, van den Broek R. The contribution of biomass in the future global energy system: A review of 17 studies. Biomass Bioenergy. 2003; 25:1-28.
 25. Binkley D, Lousier JD, Cromack K Jr. Ecosystem effects of Sitka alder in a Douglas-fir plantation. Forest Sci. 1984;30(1):26-35.
 26. Blujdea V, Pilli R, Dutca I et al. Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. Forest Ecol Manag. 2012;264:172-84.
 27. Campbell JS, Lieffers VJ, Pielou EC. Regression equations for estimating single tree biomass of trembling aspen: assessing their applicability to more than one population. Forest Ecol Manag. 1985;11:283-95.
 28. Chave J, Condit R, Aguilar S et al. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2004;359:409-20.
 29. Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Glob Chang Biol. 2014;20:3177-90.
 30. Chen J, Fang X, Wu A et al. Allometric equations for estimating biomass of natural shrubs and young trees of subtropical forests. New Forest. 2023 <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09963-z>.
 31. Chodak M, Sroka K, Woś B, Pietrzykowski M. Effect of green alder (*Alnus viridis*) and black alder (*Alnus glutinosa*) on chemical and microbial properties of sandy mine soils. Geoderma. 2019;356(3):1139-24.
 32. Chojnacký DC, Heath LS, Jenkins JC. Updated generalized biomass equations for North American tree species. Forestry. 2014;87:129-51.
 33. Christersson L, Sennerby-Forsse L, Zsuffa L. The role and significance of woody biomass plantations in Swedish agriculture. Forest Chron. 1993;69(6):687-93.
 34. Cole TG, Ewel JJ. Allometric equations for four valuable tropical tree species. Forest Ecol Manag. 2006;229(1-3):351-60.
 35. Conti G, Gorné L, Zeballos S et al. Developing allometric models to predict the individual aboveground biomass of shrubs worldwide. Glob Ecol Biogeogr. 2019;28(7):961-75.
 36. Dahal B, Poudel KP, Renninger HJ et al. Aboveground biomass equations for black willow (*Salix nigra* Marsh.) and eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh.). Trees Forests People. 2022;7:e100195.
 37. De-Miguel S, Mehtätalo L, Durkaya A. Developing generalized, calibratable, mixed-effects meta-models for large-scale biomass prediction. Can J Forest Res. 2014;44:648-56.
 38. Enquist BJ, Niklas KJ. Invariant scaling relations across tree-dominated communities. Nature. 2001;410:655-60.
 39. Feller MC. Generalized versus site-specific biomass regression equations for *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* and *Thuja plicata* in Coastal British Columbia. Bioresour Technol. 1992;39:9-16.
 40. Forrester DI, Tachauer IHH, Annighöfer P et al. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. Forest Ecol Manag. 2017;396:160-75.
 41. Forslund RR. A geometrical tree volume based on the location of the centre of gravity of the bole. Can J Forest Res. 1982;6(4):441-7.
 42. Freedman B, Duinker PN, Barclay H et al. Forest biomass and nutrient studies in central Nova Scotia. Maritimes Forest Research Centre, Can Forest Serv, Dep Environ Inf Rep M-X-134; 1982.
 43. Fu LY, Zeng WS, Tang SZ et al. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China. J Forest Sci. 2012;58(3):101-5.
 44. Glass GV. Primary, secondary and meta-analysis of research. Educ Res. 1976;5(10):3-8.
 45. Helgersson OT, Cromack K, Stafford S et al. Equations for estimating aboveground components of young Douglas-fir and red alder in a coastal

- Oregon plantation. *Can J Forest Res.* 1988;18: 1082-5.
46. Huss-Danell K, Lundniark J-E. Growth of nitrogen-fixing *Alnus incana* and *Lupinus* spp. for restoration of degenerated forest soil in northern Sweden. *Stud Forest Suec.* 1987;181:1-20.
 47. Hytönen J, Saarsalmi A. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fenn.* 2015;49(1):1260.
 48. Jenkins JC, Chojnacky DC, Heath LS, Birdsey RA. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Sci.* 2003;49:12-35.
 49. Kahle P, Hildebrand E, Baum C, Boelcke B. Long-term effects of short rotation forestry with willows and poplar on soil properties. *Arch Agron Soil Sci.* 2007;53(6):673-82.
 50. Kauter D, Lewandowski I, Claupein W. Pappeln in kurzumtriebswirtschaft: eigenschaften und qualitätsmanagement bei der festbrennstoffbereitstellung – ein überblick. *Pflanzenbauwissenschaften.* 2001;5:64-74.
 51. Keller A, Ankenbrand MJ, Bruelheide H et al. Ten (mostly) simple rules to future-proof trait data in ecological and evolutionary sciences. *Methods Ecol Evol.* 2022. doi: 10.1111/2041-210X.14033.
 52. Ker MF. Tree biomass equations for ten major species in Cumberland County, Nova Scotia. Information Report, Maritimes Forest Research Centre, Canada. No. M-X-108;1980.
 53. Kudyba S, ed. Big Data, Mining, and Analytics. Components of Strategic Decision Making. Boca Raton: CRC Press; 2014.
 54. Kuznetsova T, Rosenvald K, Ostonen I et al. Survival of black alder (*Alnus glutinosa* L.), silver birch (*Betula pendula* Roth.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in a reclaimed oil shale mining area. *Ecol Eng.* 2010; 36:495-502.
 55. Luo Y, Wang X, Ouyang Z et al. A review of biomass equations for China's tree species. *Earth Syst Sci Data.* 2020;12(1):21-40.
 56. Mleczek M, Rutkowski P, Rissmann I et al. Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*. *Biomass Bioenergy.* 2010;34:1410-18.
 57. Muukkonen P. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. *Eur J Forest Res.* 2007;126:157-66.
 58. Muukkonen P, Mäkipää R. Biomass equations for European trees: Addendum. *Silva Fenn.* 2006;40(4):763-73.
 59. Nelson AS, Weiskittel AR, Wagner RG, Saunders MR. Development and evaluation of aboveground small tree biomass models for naturally regenerated and planted species in eastern Maine, U.S.A. *Biomass Bioenergy.* 2014;68:215-27.
 60. Niklas KJ. Plant allometry: the scaling of form and process. Chicago, IL. The University of Chicago Press; 1994.
 61. Ounban W, Puangchit L, Diloksumpun S. Development of general biomass allometric equations for *Tectona grandis* Linn. f. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. plantations in Thailand. *J Agric Nat Resour.* 2016;50:48e53.
 62. Pajtík J, Konôpka B, Šebeň V. Mathematical biomass models for young individuals of forest tree species in the region of the Western Carpathians. Zvolen: National Forest Centre; 2018.
 63. Pastor J, Aber JD, Melillo JM. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some Northeast tree species. *For Ecol Manag.* 1984;7:265-74.
 64. Paul KI, Roxburgh SH, England JR et al. Development and testing of allometric equations for estimating aboveground biomass of mixed-species environmental plantings. *Forest Ecol Manag.* 2013;310:483-94.
 65. Perala DA, Alban DH. Allometric biomass estimators for aspen-dominated ecosystems in the upper Great Lakes. USDA Forest Service. North Central Forest Experiment Station. Res. Paper NC-314; 1993.
 66. Poorter H, Jagodzinski AM, Ruiz-Peinado R et al. How does biomass allocation change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents. *New Phytol.* 2015;208(3):736-49.
 67. Ribe JH. Puckerbrush weight tables. Miscellaneous Report 152. Life Sciences and Agricultural Experiment Station; University of Maine. Orono, ME; 1973.
 68. Rojas-García F, De Jong BHJ, Martínez-Zurimendi P, Paz-Pellat F. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Ann For Sci.* 2015;72:835-64.
 69. Rytter L. Grey alder in forestry. A review. *Norw J Agric Sci. Suppl.* 1996;24:65-84.
 70. Scarascia-Mugnozza G, Bauer GA, Persson H et al. Tree biomass, growth and nutrient pools. In: E.-D. Schulze, ed. Carbon and Nutrient Cycling in European Forest Ecosystems. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag; 2000. P. 49-62.
 71. Schneider FD, Fichtmueller D, Gossner MM et al. Towards an ecological trait-data standard. *Meth Ecol Evol.* 2019;10:2006-19.
 72. Shaiek O, Loustau D, Trichet P et al. Generalized biomass equations for the main aboveground biomass components of maritime pine across contrasting environments. *Ann For Sci.* 2011;68:443-52.
 73. Singh T. Generalizing biomass equations for the boreal forest region of west-central Canada. *Forest Ecol Manag.* 1986;17:97-107.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА НАРУШЕНИЙ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПОСЛЕ ВСПЫШКИ ЧИСЛЕННОСТИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА

С.М. Сультсон^{1*}, Е.И. Пономарев^{1, 2}, Е.Г. Швецов²,
П.Д. Третьяков^{1, 2}, А.А. Горошко¹, Н.Н. Кулакова¹,
П.В. Михайлов¹

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева
и ² Федеральное исследовательское учреждение «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия

*Эл. почта: sultson2011@yandex.ru

Представлены результаты анализа состояния отдельных участков горно-таежных темнохвойных лесов Сибири в 2018–2020 годах после вспышки численности сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (*Lepidoptera: Lasiocampidae*). В работе использованы материалы спутниковой съемки Landsat и Terra/MODIS. Степень нарушенности древостоев в результате дефолиации оценивалась по величине аномалий вегетационного индекса NDVI в сравнении со среднестатистическим уровнем для фоновых ненарушенных участков. Определены ее корреляционные связи с метеопараметрами, лесотаксационными и орографическими характеристиками территории. Формализовано дерево решений, прогнозирующих нарушенность темнохвойных древостоев в заданных условиях, что позволяет оценить ее вероятную степень на различных этапах развития вспышки численности сибирского шелкопряда в горно-таежных темнохвойных лесах Сибири.

Ключевые слова: темнохвойная тайга, сибирский шелкопряд, данные дистанционного зондирования, степень нарушенности древостоев, условия произрастания.

USING REMOTE SENSING FOR FORECASTING DAMAGE TO DARK CONIFEROUS FORESTS AFTER SIBERIAN SILKMOTH OUTBREAK

S.M. Sultson^{1*}, E.I. Ponomarev^{1, 2}, E.G. Shvetsov², P.D. Tretyakov^{1, 2}, A.A. Goroshko¹,
N.N. Kulakova¹, P.V. Mikhaylov¹

¹ M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies and ² Krasnoyarsk Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk, Russia

* Email: sultson2011@yandex.ru

The conditions of specific plots of a dark coniferous forest in a mountain taiga region of Siberia in 2018-2020 after an outbreak of Siberian silkmoth *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (*Lepidoptera: Lasiocampidae*) have been analyzed using Landsat and Terra/MODIS remote sensing data. The degree of defoliation-caused damage to forest stand was evaluated based on deviations of the vegetation index NDVI from the mean value found in undisturbed plots. Correlations between damage degree, meteorological parameters, and forest inventory and orographic characteristics of the territory under study were determined. A solution tree has been constructed for forecasting the possible degrees of damage to dark coniferous forests under defined conditions, which provides for estimating the possible degrees of damage to mountain taiga dark coniferous forests of Siberia at different stages of Siberian silkmoth outbreak development.

Keywords: dark coniferous taiga, Siberian silkmoth, remote sensing data, forest stand damage degree, vegetation conditions.

Введение

Состояние и устойчивость таежных лесов в границах ареалов регулируется естественно-историческими причинами, экологической амплитудой и конкурентными возможностями лесообразователей, а также

внешними, в том числе природными и антропогенными возмущениями [5]. Один из самых значительных природных факторов, влияющих на темнохвойные древостои Сибири, – воздействие сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (*Lepidoptera:*

Lasiocampidae) в условиях вспышки его численности. Изучение данного вопроса имеет важное значение в контексте рационального природопользования и стабильного существования экосистем в условиях изменения климата и роста антропогенного вмешательства. В целом, устойчивое природопользование – одна из центральных проблем современной экологии, определяющая взаимоотношения человека с природой и присущая всем природным образованиям [2, 11, 12].

Многие исследователи пришли к выводу о том, что наиболее часто крупные вспышки массового размножения насекомых-филлофагов возникают в определенных типах лесных фитоценозов [3, 6, 13, 14, 23]. Уровень энтоморезистентности древостоев служит одним из ключевых элементов возможности возникновения вспышек массового размножения, а следовательно, и механизма реализации вспышек. В целом известно, что параметры энтоморезистентности древостоев детерминируются широким кругом факторов различного уровня: структурными особенностями древостоев и их возрастом, породным составом; почвенно-эдафическими факторами, температурой, интенсивностью и продолжительностью засух, суховеев, степенью ослабленности древостоя различными факторами (антропогенное (техногенное) воздействие, рубка леса, порослевое возобновление и другие) [9].

Очаги массового размножения сибирского шелкопряда в Сибири описаны с конца XIX века и возникают на площадях до 10 миллионов гектар приблизительно через 15 лет [10, 17]. Каждая такая вспышка развивается на протяжении нескольких лет, постепенно увеличивая охваченную площадь [10, 18, 27, 28]. Из трех темнохвойных видов – сосна сибирская *Pinus sibirica*, пихта *Abies sibirica*, ель *Picea obovata* – *P. sibirica* и *A. sibirica* являются предпочитаемыми кормовыми породами для сибирского шелкопряда [8] и при этом крайне неустойчивы к дефолиации. Их массовая гибель обычна при потере уже 25% хвои [4]. Как следствие, при отсутствии защитных мероприятий площадь погибших темнохвойных древостоев после одной только вспышки может достигать нескольких миллионов гектар [10]. Сукцессионные процессы в таких древостоях происходят через смену пород за счет лиственных древостоев. Темнохвойная формация восстанавливается ориентировочно через 150–200 лет [4].

В настоящее время ситуация усугубляется изменениями климата. Возрастание температуры воздуха летнего периода на территории Сибири наблюдается, по крайней мере, с 1970-х годов [16] и прогнозируется в дальнейшем [29]. При этом бореальные биомы являются наиболее чувствительными к таким изменениям [26]. Сочетание стресса, вызванного неблагоприятными изменениями климата, с дефолиацией способно значительно увеличить масштаб негативных последствий повреждения деревьев насекомыми [24]. Одним

из них уже наблюдающихся последствий является активизация вредителей леса [26, 30]. В случае сибирского шелкопряда вероятно, по меньшей мере, обусловленное потеплением расширение ареала и появление вспышек массового размножения значительно севернее границ, в которых они были известны ранее [17].

Очевидное решение, позволяющее снизить экономический и экологический ущерб от дефолиации, – разработка методов раннего обнаружения очагов массового размножения. Это позволит своевременно начать подавление популяций филлофага и уменьшить площадь поврежденных и погибших древостоев [10]. Обзорные данные перспективно получать на основе периодического спутникового мониторинга потенциальных зон повреждения. В этом вопросе активно используются многоспектральные спутниковые данные и спектральные индексы, динамика которых, а также амплитуды относительных отклонений от нормы могут косвенно характеризовать степень нарушенности древостоев, уровень дефолиации и развитие процессов усыхания [20, 21, 31]. Анализ спутниковых изображений после начала дефолиации позволяет обнаружить уже нанесенный сибирским шелкопрядом ущерб [20]. В то же время показано [19, 21], что с использованием ряда спектральных индексов можно характеризовать также степень нарушенности в условиях дефолиации древостоев даже в условиях менее 50% дефолиации. При этом для верификации и калибровки спутниковых оценок необходимы наземные обследования древостоев, в которых началось нарастание численности *D. sibiricus*, но еще не зафиксированы полная дефолиация и усыхание. В условиях Сибири, где покрытая лесами площадь велика, а дорожная сеть развита слабо, охватить обследованием все леса с преобладанием кормовых пород на практике невозможно. Поэтому для успеха таких обследований необходимо их проведение в древостоях, повреждение которых наиболее вероятно. Таким образом, задачи количественных оценок устойчивости древостоев на сегодня не имеют достаточной степени проработки, изобилуют допущениями и пока не находят широкого практического применения. Однако решения, обобщающие как наземные данные лесоустройства, так и информацию, получаемую методами дистанционного зондирования Земли, могут служить основой для выработки новых технологий контроля древостоев и выявления их устойчивости в условиях различных деструктивных воздействий [7]. Для идентификации уязвимых участков важно получать обобщающий комплекс известных параметров, определяющих локацию, скорость прироста и динамику зоны поражения в случае развития вспышки массового размножения сибирского шелкопряда.

В настоящей работе рассмотрены следующие аспекты проблемы: 1) категоризация состояния отдель-

ных участков темнохвойного леса после воздействия сибирского шелкопряда в условиях вспышки в зоне горно-таежных темнохвойных лесов Сибири в 2018–2020 годах, а также 2) связь степени нарушенности темнохвойных, регистрируемой на основе спутниковой съемки Landsat и Terra/MODIS, и динамики спектрального индекса, с метеопараметрами, лесотаксационными и орографическими характеристиками территории.

Методика исследований

Район исследования расположен в таежной зоне Саянского лесозащитного района и относится к зоне средней лесопатологической угрозы. Объектом изучения являлась область недавней повышенной активности сибирского шелкопряда в границах темнохвойных южных горно-таежных лесов Восточного Саяна (Ирбейское лесничество Красноярского края). Ландшафтный комплекс характеризуется среднегорным рельефом и территориально относится к Южно-Сибирской горной лесорастительной зоне, Алтае-Саянскому горно-таежному лесному району.

Климат района резко континентальный и находится под влиянием влажных западных воздушных масс летом и сибирского антициклона зимой. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 149–151 день. Абсолютный минимум температуры в январе: -50 °С, абсолютный максимум в июле: $+38,6$ °С. Среднегодовое количество осадков – около 527 мм. Доминируют темнохвойные насаждения – кедр, пихта, ель (*Pinus sibirica*, *Abies sibirica*, *Picea obovata*), которые составляют в совокупности до 40% лесной территории. Из лиственных (осина *Populus tremula* и береза *Betula spp.*) пород преобладает береза (около 19% всей территории). Светлохвойные – сосняки (*Pinus sylvestris*) и лиственничники (*Larix sibirica*), занимают 16 и 6,5% территории Ирбейского лесничества, соответственно. На северо-западе лесничества до 14% площади не покрыты лесом. Остальные категории растительности – сосна, лиственница и лиственные насаждения в совокупности составляют 3%.

Выполнение исследований основано на использовании спутниковой информации широкого спектрального диапазона и пространственного разрешения – Landsat-8 с разрешением 30 м, Terra/Aqua MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) с разрешением 250 м, 1000 м – из открытых каталогов спутниковых данных.

Загрузка данных Landsat выполнялась с сайта Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), а данных MODIS – с сайта агентства НАСА (<https://landsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

Дополнительно анализировались материалы, отражающие физико-географические и лесорастительные условия, карта растительности (сервис «Vega» Инсти-

тута космических исследований РАН, Москва (<http://pro-vega.ru/maps/>) [1] (рис. 1а), цифровая модель рельефа (ASTER GDEM, версия 3, пространственное разрешение 30 м, <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/>) и векторный ГИС-слой лесотаксационных характеристик выделов части Ирбейского лесничества с привязкой к зоне поражения сибирским шелкопрядом.

Климатические данные были восстановлены с 1970-х годов с использованием открытых банков данных ре-анализа метеорологической информации по территории исследования (The POWER Project, <https://power.larc.nasa.gov/>, дата обращения: 01.10.2022), а также обобщения за 11 лет до массовой вспышки шелкопряда (2005–2016) и за 5 лет после ее начала по данным ре-анализа (<https://www.globalclimatemonitor.org>, дата обращения: 01.10.2022).

Для оценки степени нарушенности лесов в работе использовался нормализованный разностный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), восстановленный из стандартного продукта каталога данных MODIS – MOD13Q1/MYD13Q1 с пространственным разрешением 250 м [15]. Значения индекса NDVI рассчитывались для периода наибольшей фотосинтетической активности растительности – с июня по октябрь каждого года (145–273-й день года). Из последующей обработки были исключены пиксели низкого качества (содержащие облака, тени от облаков и т. д.), после чего были рассчитаны средние значения NDVI.

Анализ нарушений включал два этапа. На первом этапе выполнен анализ применимости аномалии вегетационного индекса NDVI для оценки степени повреждения территории. Данная процедура была основана на попиксельном сопоставлении данных MODIS и данных Landsat более высокого пространственного разрешения.

С помощью классификации данных Landsat по методу максимального правдоподобия были выделены фрагменты территории с изменениями спектральных признаков древостоев, вызванных воздействием шелкопряда. Для классификации использовался композит, включавший данные красного (канал № 4), ближнего инфракрасного (канал № 5) и коротковолнового (канал № 7) каналов Landsat-8. Для классификации данных Landsat с применением метода максимального правдоподобия была сформирована обучающая выборка размером 46 полигонов (площадь от 3 до 10 га) (рис. 1б).

Далее для каждого 250-метрового пикселя MODIS была определена доля пикселя (площади), которая была повреждена шелкопрядом (по данным Landsat). Эта величина рассчитывалась как отношение числа пикселей Landsat, находящихся в пределах одного пикселя MODIS, которые были классифицированы как поврежденные, к общему числу пикселей Landsat в пределах пикселя MODIS. Полученное отношение

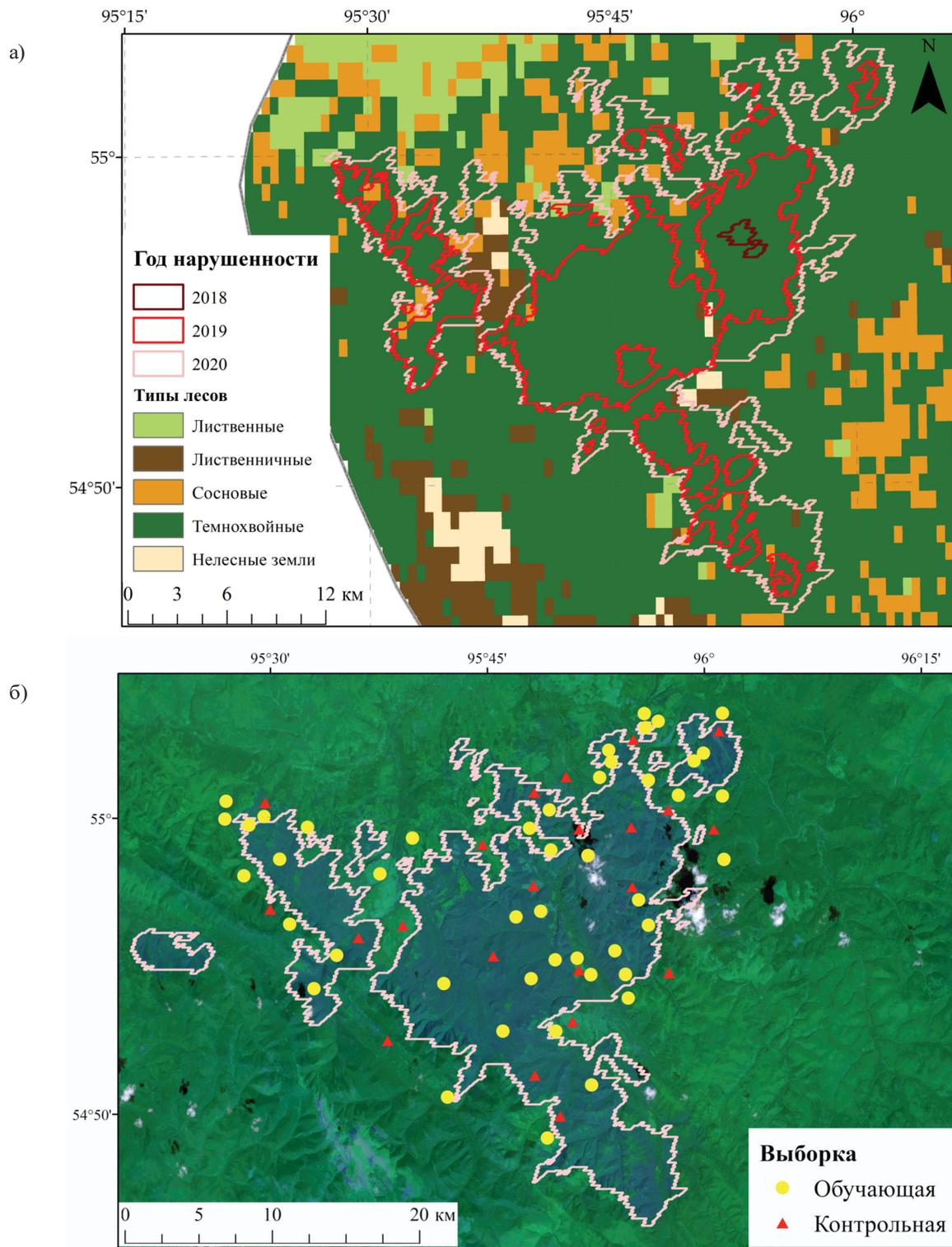


Рис. 1. Зона поражения территории Ирбейского лесничества. (а) Динамика зоны поражения в 2018–2020 годах на карте растительности. Преобладающие древостои выделены по материалам портала «Vega» Института космических исследований (<http://pro-vega.ru/maps/>). Границы зон поражения выделены по аномалиям NDVI для указанных годов. (б) Расположение участков обучающей и контрольной выборок. Зона поражения отмечена по состоянию на 2020 год

(степень нарушенности) было сопоставлено с величиной аномалии индекса NDVI, определенного по данным MODIS.

На втором этапе с использованием продуктов MODIS оценивалась степень нарушенности отдельных выделов (наименьших таксонов с идентичными характеристиками растительного покрова) Ирбейского лесничества. Выделы с их характеристиками и границами присутствуют в векторном слое таксационных описаний Ирбейского лесничества, который накладывался на материалы съемок средствами геоинформационной системы (ГИС) с открытым кодом QuantumGIS (Quantum Geographic Information System, version 3.16.3, <https://www.qgis.org>, дата обращения: 25.01.2023). Оценка степени нарушенности каждого выдела выполнялась на основании величины отклонения вегетационного индекса NDVI по отношению к состоянию на 2017 год (то есть ненарушенному состоянию до начала вспышки). Степень нарушенности выдела оценивалась как отношение отклонения среднего значения NDVI в пределах выдела после воздействия шелкопряда к среднему значению до возникновения вспышки (аномалия NDVI, %):

$$CH = 100\% * (NDVI_{post} - NDVI_{pre}) / NDVI_{pre}, \quad (1)$$

где: CH – степень нарушенности; $NDVI_{pre}$ – значения NDVI до воздействия шелкопряда; $NDVI_{post}$ – значения NDVI после воздействия.

Далее вычисляли количество пикселей с аномалиями NDVI внутри каждого рассматриваемого выдела. Если доля таких пикселей превышала 10% общего числа, то выдел характеризовался высокой степенью нарушенности. При значении $\leq 10\%$ – низкой.

В отдельный класс отнесены ненарушенные выделы (<5%). В этом случае вариация NDVI не была связана с воздействием шелкопряда. Таким образом, получены векторные ГИС-слои нарушенности лесов Ирбейского лесничества за период 2018–2020 годов (рис. 1а).

В анализе также использованы данные по более чем 2000 выделам с атрибутивной базой таксационных характеристик. Результаты классификации спутниковых съемок анализировались сопряженно с лесотаксационными данными по выделам. Поскольку каждый выдел мог подвергаться воздействию сибирского шелкопряда в течение более чем одного месяца, рассматривался тот месяц, в котором была повреждена наибольшая доля площади выдела. Расчеты выполнялись за каждый месяц периода июнь–октябрь с 2018 по 2020 год. Степень повреждения растительности рассматривалась через относительные аномалии значения показателя вегетационного индекса NDVI от уровня, характерного для ненарушенных участков (участков в состоянии до воздействия шелкопряда) темнохвойной тайги лесничества. Ненарушенные участки темнох-

войных насаждений характеризовались значениями NDVI от 0,77 до 0,84. Критерием для выделения участков с нарушениями древостоев после воздействия шелкопряда было снижение относительных значений показателя NDVI на величину 25–50% статистической нормы для здоровой растительности. Такие пороговые значения обоснованы для задачи такого типа и использовались в ряде работ по теме [20, 21, 31].

Результаты

Точность результатов классификации данных Landsat оценивалась с помощью выборки, включавшей 22 контрольных полигона (рис. 1б). Для каждого полигона результат определялся на основании того, как было классифицировано (нарушенные или ненарушенные) большинство пикселей внутри полигона. Оценка точности классификации проводилась путем сопоставления полученных оценок для полигонов контрольной выборки с результатами, полученными согласно визуальному экспертному анализу. Анализ показал, что два неповрежденных шелкопрядом участка, расположенных возле русла реки, были ошибочно классифицированы как нарушенные (ошибки первого рода). В то же время случаи ошибок второго рода, когда поврежденные полигоны классифицировались как неповрежденные, не зафиксированы. Таким образом, согласно сформированной контрольной выборке, общая точность классификации составила около 91%.

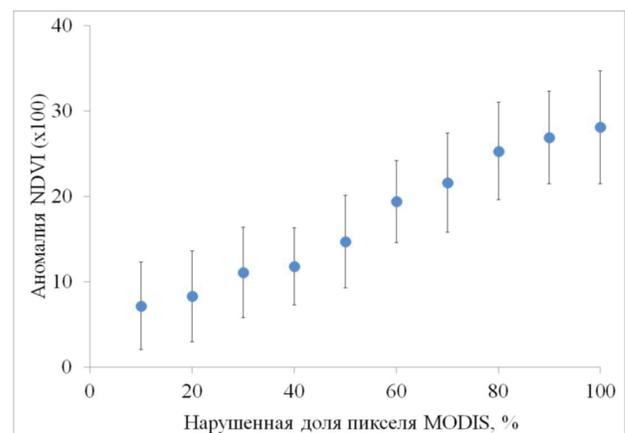


Рис. 2. Соотношение между долей пикселя MODIS, в которой наблюдались признаки нарушенности лесов шелкопрядом, и величиной аномалии NDVI. Планки погрешности соответствуют одному стандартному отклонению

На рис. 2 показана зависимость между долей пикселя MODIS, классифицированной как нарушенная, и величиной аномалии NDVI. Пиксели MODIS были разделены на 10 классов нарушенности (с шагом 10%) по величине доли пикселя, классифицированной как

нарушенная. Так, пиксели MODIS, для которых доля нарушения составляла менее 10%, объединялись в одну группу, пиксели, для которых эта величина составляла от 10 до 20%, – в другую и т. д. Для каждой такой группы были рассчитаны среднее значение аномалии NDVI и величина стандартного отклонения. Анализ связи между средней величиной аномалии NDVI, рассчитанной для пикселей MODIS из каждой группы, и долей пикселя, классифицированной как нарушение по данным Landsat, показал наличие линейной связи между этими переменными ($r^2 = 0,98$, $p < 0,01$). Таким образом, было установлено, что величина аномалии индекса NDVI по данным радиометра MODIS может быть использована в качестве индикатора степени нарушения лесов в пределах выдела.

Общая площадь зоны, классифицированной по материалам спутниковой съемки как зона поражения за период 2018–2020 годов (рис. 1), составила более 41 тыс. га, что соответствовало территории 2068 выделов в векторном ГИС-слое таксационных характеристик Ирбейского лесничества.

Для оценки вероятной степени нарушения древостоев сибирским шелкопрядом в отдельных выделах Ирбейского лесничества был проведен анализ корреляционных связей между степенью нарушения и набором лесотаксационных характеристик по всем выделам Ирбейского лесничества.

В качестве анализируемых лесотаксационных характеристик рассматривались средний возраст, средняя высота и средний диаметр насаждения, породный состав насаждения, преобладающая порода, тип леса, бонитет, а также полнота. Все характеристики насаждений были преобразованы в числовой формат. В частности, для категориальных переменных каждой категории присваивалось числовое значение,

для которого и рассчитывался коэффициент корреляции. В случае породного состава числовое значение рассчитывалось как доля темнохвойных древостоев (кедр, пихта, ель) в насаждении. Результирующая матрица корреляций показана в табл. 1.

Наибольшие коэффициенты корреляции найдены для переменных «средний возраст насаждения» ($r = 0,38$) и «доля темнохвойных пород в пределах выдела» ($r = 0,43$). Для остальных рассмотренных переменных коэффициент корреляции не превышал 0,3.

На рис. 3 показаны гистограммы распределения общего числа выделов, а также числа нарушенных выделов (со степенью нарушения более 5%) для рассмотренных таксационных характеристик. Основную часть (более 85%) нарушенных выделов составили выделы с долей темнохвойных древостоев более 50% (рис. 3а). В 80% нарушенных выделов преобладали пихтовые или кедровые древостои (рис. 3е). В основном поражались древостои возрастом более 100 лет (84%) (при этом на выделы со средним возрастом древостоев от 100 до 150 лет пришлось 47% всех нарушенных выделов), высотой от 18 до 27 м (89%) и диаметром от 18 до 36 см (83%). В 95% поврежденных выделов древостои имели бонитет 3–4.

Таким образом, было установлено, что такие переменные, как доля темнохвойных пород в насаждении, бонитет, а также средний возраст древостоя в пределах выдела коррелируют со степенью нарушения лесов.

В анализе связи орографических характеристик выделов со степенью нарушения сибирским шелкопрядом были рассмотрены следующие переменные: средняя высота выдела над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов. Корреляционные связи этих факторов со степенью нарушения незначительны (табл. 2).

Табл. 1

Результаты корреляционного анализа связи лесотаксационных характеристик выделов и степени нарушения насаждений (СН), определенной на основе индекса NDVI

	Возраст	Высота	Диаметр	ПП*	ТХВ**	Тип леса	Бонитет	Полнота	СН
Возраст	1,00								
Высота	0,80	1,00							
Диаметр	0,84	0,87	1,00						
ПП*	-0,42	-0,37	-0,16	1,00					
ТХВ**	0,64	0,50	0,42	-0,78	1,00				
Тип леса	0,34	0,33	0,38	-0,06	0,17	1,00			
Бонитет	0,51	0,45	0,33	-0,47	0,47	0,14	1,00		
Полнота	0,28	0,53	0,38	-0,32	0,29	0,25	0,41	1,00	
СН	0,38	0,27	0,24	-0,35	0,43	0,06	0,25	0,14	1,00

* Преобладающая порода в выделе.

** Доля темнохвойных пород в составе древостоя.

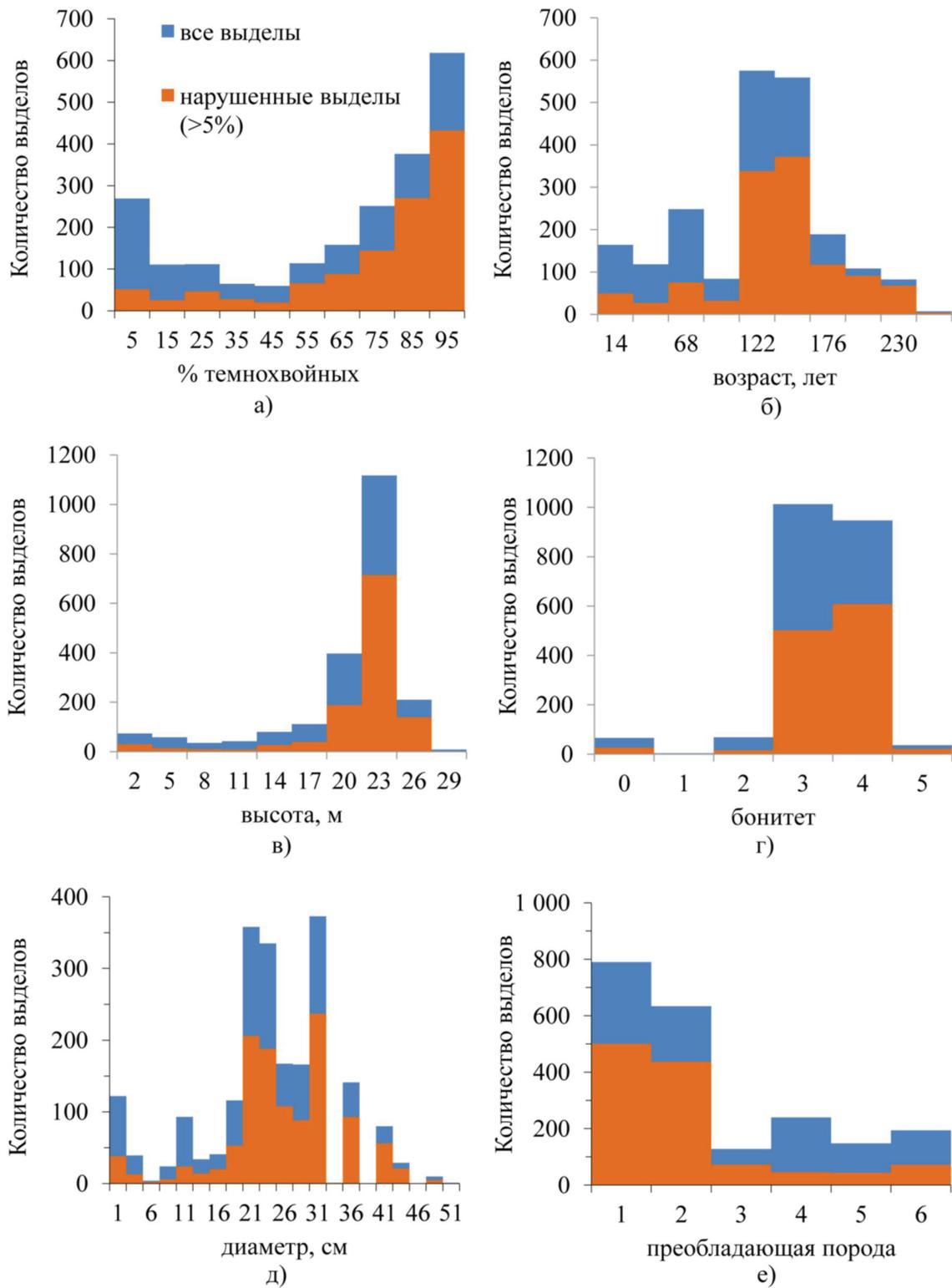


Рис. 3. Гистограммы распределения числа выделов для различных лесотаксационных переменных. Показаны гистограммы для нарушенных (степень нарушенности более 5%) выделов. Преобладающие породы: 1 – пихта; 2 – кедр; 3 – ель; 4 – береза; 5 – осина; 6 – нет данных

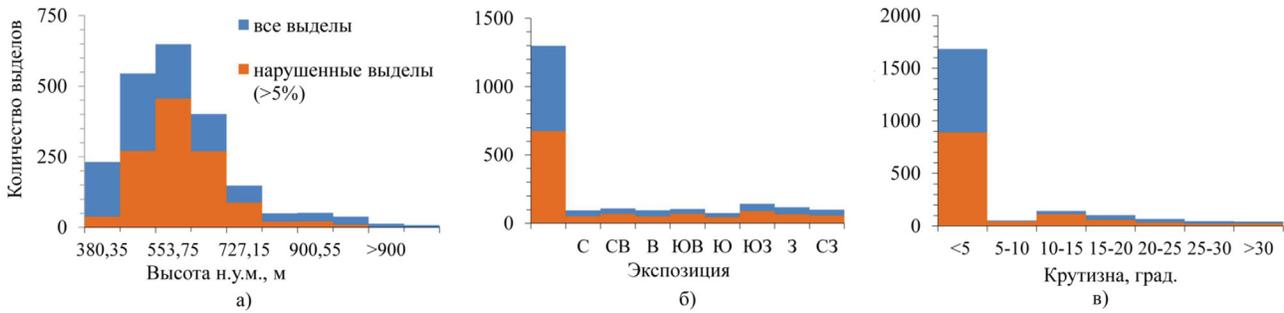


Рис. 4. Гистограммы распределения числа выделов в зависимости от орографических характеристик: а) высота над уровнем моря; б) экспозиция склона; в) крутизна склона

Табл. 2

Матрица корреляций орографических характеристик выделов и степени нарушенности (СН)

	Крутизна	Высота	Экспозиция	СН
Крутизна	1,00			
Высота	0,36	1,00		
Экспозиция	0,56	0,31	1,00	
СН	0,01	0,03	0,08	1,00

Табл. 3

Матрица корреляций метеорологических переменных и степени нарушенности (СН)

	Темп.	Осадки	Темп. пред.	Осадки пред.	СН
Темп.	1,00				
Осадки	-0,34	1,00			
Темп. пред.	0,49	-0,08	1,00		
Осадки пред.	0,40	0,32	-0,29	1,00	
СН	0,66	0,27	0,48	0,25	1,00

Распределение числа выделов, нарушенных шелкопрядом, хорошо согласовывалось с распределением общего числа выделов (рис. 4). Треть всех выделов (>33%) располагалась на высотах от 500–700 м н.у.м., на равнинных участках. При этом на 40% этих выделов фиксировались нарушения шелкопрядом. В то же время можно отметить влияние рельефа местности в качестве ограничивающего фактора при распространении шелкопряда, например, высоты более 900 м.

В табл. 3 приведена матрица корреляций между степенью повреждения выдела шелкопрядом и метеорологическими переменными текущего месяца, а также предыдущего месяца (темп. пред., осадки пред.).

Наибольшие коэффициенты корреляции наблюдались для температуры воздуха в текущем месяце ($r = 0,66$) и температуры воздуха предыдущего месяца ($r = 0,48$). В целом, можно отметить, что в период с августа по октябрь 2018–2020 годов на территории исследования наблюдались положительные аномалии тем-

пературы воздуха (на уровне $\sim 1,2$ °С). Коэффициенты корреляции для аномалий количества осадков были существенно ниже.

На основе результатов корреляционного анализа были выделены факторы, имевшие наиболее существенную связь со степенью нарушенности древостоев района исследований. В качестве таких факторов рассматривались средний возраст древостоя, доля темнохвойных пород, бонитет, а также температура воздуха за текущий и предыдущий месяцы. В качестве зависимой выходной переменной рассматривалась степень нарушенности лесов, рассчитанная по данным MODIS.

Результатирующее уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$СН = 0,1 \times \text{Возраст} + 0,19 \times \text{ТХВ} + 2,87 \times \text{Бонитет} + 28,54 \times \text{Темп} + 9,86 \times \text{Темп. пред.} - 16,25, \quad (2)$$

где: СН – вероятная степень нарушенности; Возраст – средний возраст насаждения в пределах выдела (лет); ТХВ – доля темнохвойных пород (0–100%); Бонитет – бонитет; Темп. – аномалия температуры воздуха в текущем месяце (°С); Темп. пред. – аномалия температуры воздуха в предыдущем месяце (°С).

Коэффициент детерминации многофакторного регрессионного анализа модельного решения и оценок нарушенности по спутниковым данным составил $R^2 = 0,53$.

Хотя уравнение (2) описывает общую связь между степенью нарушенности и рассмотренными переменными, можно выделить также аналогичные уравнения связи для отдельных этапов развития вспышки.

Корреляционный анализ показал, что самостоятельное решение может быть сгенерировано с учетом этапности развития вспышки с прогнозируемым уровнем воздействия энтомофитов на древостой, а также с учетом различной значимости факторов влияния, указанных в уравнении 2.

Так, на территории Ирбейского лесничества на основе анализа спутниковых данных были выделены три этапа развития зоны повреждения (рис. 1): этап 1 – начальная фаза (по снимкам на конец вегетационного сезона 2018 года), этап 2 – экспоненциальный прирост площади нарушений, выявленный на конец сезона 2019 года, и этап 3 – финальная стадия повреждения по состоянию на 2020 год. Для каждого этапа также было рассмотрено влияние указанных выше переменных на вероятную степень нарушенности (СН) в пикселях изображения. В общем виде уравнение, используемое для оценки вероятной степени нарушенности, можно записать так:

$$СН = А \times \text{Возраст} + В \times \text{ТХВ} + С \times \text{Бонитет} + D \times \text{Темп} + E \times \text{Темп. пред.} + F. \quad (3)$$

Уравнение 3 содержит набор коэффициентов (табл. 4), полученных методом поиска решений (стандартные надстройки пакета MS Office) с оптимизацией результата в привязке к степени нарушенности древостоев в терминах аномалии вегетационного индекса (NDVI). Как было описано выше, пороговое значение 10%, разделяющее классы нарушенности (КН), отражает фактическое распределение вегетационных аномалий в границах анализируемых выделов Ирбейского лесничества в 2018–2020 годах.

Общий вид модели и набор коэффициентов, реализующих решение, необходимо выбирать в соответствии с дополнительными условиями. На рис. 5 приведено дерево решений для расчета степени нарушенности (СН) применительно к заданному сценарию на различных этапах развития вспышки с выбором вероятного класса повреждения древостоя (КН) по аномалиям спектральных признаков: зона нарушенности в границах выдела составит $КН > 10\%$, зона нарушенности в границах выдела составит $КН \leq 10\%$ (преимущественно не подвергшиеся воздействию шелкопряда выделы темнохвойных насаждений).

Все последние исследования [19, 22, 27, 28] по этому вопросу констатируют, что решение проблемы прогнозирования вспышки шелкопряда и развития зоны поражения сопряжено с высоким уровнем неопределенности и уникальности в каждом отдельном случае. Наибольшую трудность представляет прогноз начала вспышки. Модельные решения для каждого уникального события требуют большого количества входной информации [22, 25, 27, 28]. Кроме того, потребуются также знания о вероятных сценариях развития вспышки, доступные только при полевых наблюдениях в конкретных условиях, а значит, фрагментарные. Однако подходы к оценке степени нарушенности древостоев, как и общие закономерности корреляционных связей с внешними параметрами, на наш взгляд, универсальны. Дополнительное преимущество исполь-

Табл. 4

Коэффициенты уравнений, соответствующие разным этапам развития вспышки численности сибирского шелкопряда и классам нарушенности древостоев

Этап	Класс нарушенности выдела (КН)	Коэффициенты					
		А	В	С	Д	Е	Ф
1	Низкий	0,04	0,12	1,84	11,1	4,3	-5,6
	Высокий	0,07	0,27	2,38	14,1	2,6	-7,2
2	Низкий	0,05	0,21	2,1	16,2	3,7	3,4
	Высокий	0,06	0,29	1,2	25,7	8,4	22,7
3	Низкий	0,07	0,26	1,5	18,7	-5,1	4,3
	Высокий	0,16	0,24	3,1	18,9	5,3	-17,8

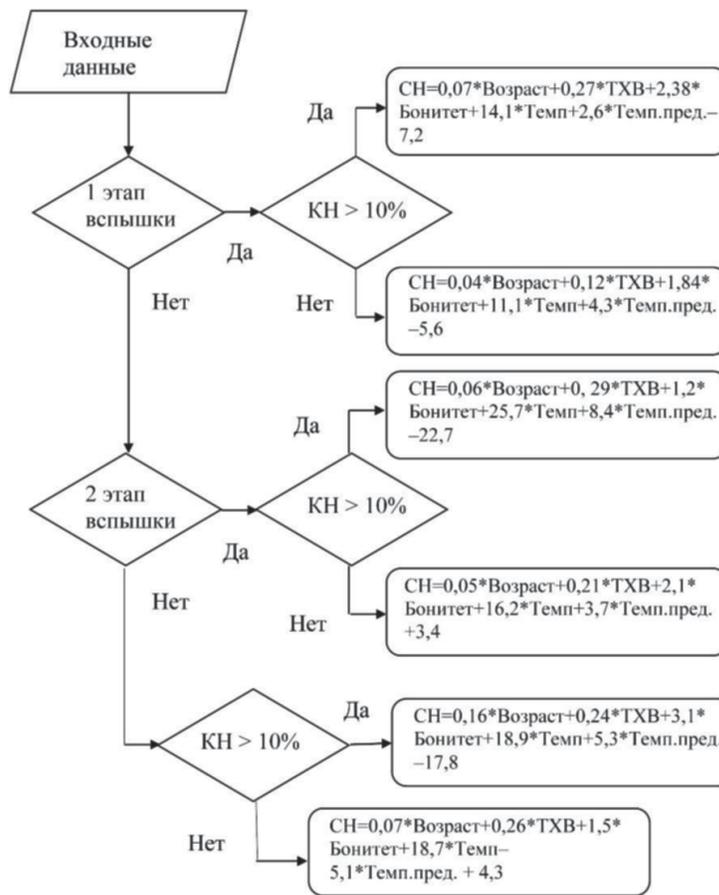


Рис. 5. Дерево решений для расчета степени нарушенности (СН) на различных этапах развития вспышки численности сибирского шелкопряда с выбором вероятного класса повреждения древостоя (КН): зона нарушенности древостоя в границах выдела составит КН > 10%, зона нарушенности в границах выдела составит КН ≤ 10%

зования спутниковых данных состоит в возможности отслеживать эволюцию вспышки и ее влияние на состояние древостоев с течением времени. Таким образом, и подходы, описанные в этой статье, и общий вид полученных решений вполне применимы и к другим событиям вспышки численности шелкопряда на территориях горной темнохвойной тайги Сибири.

Заключение

В результате проведенных исследований представлен алгоритм оценки устойчивости отдельных участков леса к воздействию сибирского шелкопряда в случае развития вспышки в границах горно-таежных темнохвойных лесов. Проведенный анализ подтвердил возможность применения набора выявленных параметров для прогноза состояния участков темнохвойных насаждений в условиях воздействия шелкопряда. Предложенное решение (с пороговым значением КН = 10%) позволяет разделять участки с вероятными значительными нарушениями темно-

войных древостоев и, преимущественно, не подвергшиеся воздействию шелкопряда выделы темнохвойных насаждений (при КН ≤ 10%). Разработана система модельных решений, описывающих влияние наиболее значимых факторов на развитие вспышки в заданном пространстве выделов с привязкой к степени нарушенности древостоев (в терминах вегетационной аномалии) с достоверностью не ниже R² = 0,53. Формализованное дерево решений, прогнозирующих нарушенность темнохвойных древостоев в заданных условиях, можно использовать для вероятностных оценок степени нарушенности на различных этапах развития вспышки сибирского шелкопряда в горно-таежных темнохвойных лесах Сибири.

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).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Барталев СА, Егоров ВА, Жарко ВО, Лупян ЕА, Плотников ДЕ, Хвостиков СА, Шабанов НВ. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН; 2016.
2. Бех ИА, Данченко АМ. Параметры устойчивости темнохвойно-кедровых лесов равнинной тайги Западной Сибири. Вестн Томск гос унта. Биол. 2008;1(2):57-62.
3. Воронцов АИ. Патология леса. М.: Лесная промышленность; 1978.
4. Гродницкий ДЛ, Разнобарский ВГ, Солдатов ВВ, Ремарчук НП. Деградация древостоев в таежных шелкопрядниках. Сиб экол журн. (2002);9(1):3-12.
5. Ермоленко ПМ, Овчинникова НФ. Устойчивость темнохвойных лесов Западного Саяна. В кн.: Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем. Красноярск; 1999:57-8.
6. Ильинский АИ. Непарный шелкопряд и меры борьбы с ним. М.: Гослесбумиздат; 1959.
7. Исаев АС, Ряполов ВЯ. Анализ ландшафтно-экологической приуроченности очагов сибирского шелкопряда с применением аэрокосмической съемки. В кн.: Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука; 1979. С. 152-67.
8. Кириченко НИ, Баранчиков ЮН. Кормовые нормы гусениц сибирского шелкопряда на хвойных породах Сибири. Сиб экол журн. 2008;(5):709-16.
9. Колтунов ЕВ, Бахвалов СА, Мартемьянов ВВ. Факторы и экологические механизмы популяционной динамики лесных насекомых-филлофагов. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2010.
10. Кондаков ЮП. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда. В кн.: Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука; 1974. С. 206-65.
11. Куприянова ТМ. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем. В кн.: Устойчивость геосистем. М.: Наука; 1983. С. 7-13.
12. Матюк ИС. Устойчивость лесонасаждений. М.: Лесная промышленность; 1983.
13. Распопов ПМ. Массовые размножения хвое- и листогрызущих насекомых в Челябинской области с 1949 по 1973 г. и меры борьбы с ними. В кн.: Биологические исследования в Ильменском заповеднике. Свердловск: УНЦ АН СССР; 1973. С. 83-97.
14. Ханисламов МГ. Динамика численности непарного шелкопряда в связи с условием пита-

ния и погоды. Первая межвузовская конференция по защите леса: тез. докл. М.: Изд. МВУ СССР и МЛТИ; 1958. С. 11-2.

Общий список литературы/References

1. Bartalev SA, Yegorov VA, Zharko VO, Lupian YeA, Plotnikov DYe, Khvostikov SA, Shabanov NV. Sputnikovoye Kartografirovaniye Rastitelno-go Pokrova Rossii. Moscow: IKI RAN; 2016. (In Russ.)
2. Bekh IA, Danchenko AM. [Stability parameters of dark-coniferous cedar forests of the plain taiga of West Siberia]. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta Biologiya. 2008;1(2):57-62. (In Russ.)
3. Vorontsov AI. Patologiya Lesa. Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1978. (In Russ.)
4. Grodnickiy DL, Raznobarskiy VG, Soldatov VV, Remarchuk NP. [Tree stand degradation in Siberian silk moth-affected forests]. Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal. 2002;9(1):3-12. (In Russ.)
5. Yermolenko PM, Ovchinnikova NF. [Stability of dark coniferous forests of Western Sayan Mountains]. In: Metody Otsenki Sostoyaniya i Ustoychivosti Lesnyh Ekosistem. Krasnoyarsk; 1999. P. 57-8. (In Russ.)
6. Ilyinskiy AI. Neparnyi Shelkopriad i Mery Borby s Nim. Moscow: Goslesbumizdat; 1959. (In Russ.)
7. Isayev AS, Riapolov VYa. [Using aerospace photography for analysis of the association of Siberian silk moth foci with ecological landscapes]. In: Issledovaniye Tayozhnykh Landshaftov Distantionnymi Metodami. Novosibirsk; Nauka; 1979. P. 152-67. (In Russ.)
8. Kirichenko NI, Baranchikov YuN. [Forage norms of Siberian silk moth larvae feeding on coniferous species of Siberia]. Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal. 2008;(5):709-16. (In Russ.)
9. Koltunov YeV, Bakhvalov SA, Martemyanov VV. Faktory i Ekologicheskiye Mekhanizmy Populatsionnoy Dinamiki Lesnyh Nasekomyh-Fillofagov. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN; 2010. (In Russ.)
10. Kondakov YuP. [Regularities in Siberian silk moth outbreaks]. In: Ekologiya Populatsiy Lesnykh Zhivotnykh Sibiri. Novosibirsk: Nauka; 1974. P. 206-65. (In Russ.)
11. Kupriyanova TM. [A review of concepts related to physical-geography systems stability]. In: Ustoychivost Geosistem. Moscow: Nauka; 1983. P. 7-13. (In Russ.)
12. Matiuk IS. Ustoychivost Lesonasazhdeniy. Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1983. (In Russ.)

13. Raspopov PM. [Outbreaks of needles and leaves consuming insects in Chelyabinsk Oblast in 1949 through 1973 and measures taken against them]. In: Biologicheskiye Issledovaniya v Ilmenskom Zapovednike Sverdlovsk: UNTs AN SSSR; 1973. P. 83-97. (In Russ.)
14. Khanislamov MG. [Changes in spongy moth abundance related to nutritional and climatic conditions]. In: Pervaya Mezhdvuzovskaya Konferentsiya po Zashchite Lesa Tezisy Dokladov. Moscow: Izdatel'stvo MVU SSSR i MLTI; 1958. P. 11-2. (In Russ.)
15. Didan K, Munoz AB, Solano R, Huete A. MODIS Vegetation Index User's Guide Version 3.00, June 2015 (Collection 6).
16. Gorbatenko VP et al. Effect of atmospheric circulation on temperature variations in Siberia. Atmos Ocean Opt. 2011;24(1):15-21.
17. Kharuk VI, Antamoshkina OA. Impact of silkmoth outbreak on taiga wildfires. Contemp Probl Ecol. 2017;10(5):556-62.
18. Kharuk VI, Demidko DA, Fedotova YeV, Dvinskaya ML et al. Spatial and temporal dynamics of Siberian silkmoth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai. Contemp Probl Ecol. 2016;9(6):711-20.
19. Kharuk VI, Im ST, Soldatov VV. Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. J Mountain Sci. 2020;(17):1891-900.
20. Kharuk VI, Ranson KJ, Kozuhovskaya AG, Kondakov YP, Pestunov IA. NOAA/AVHRR satellite detection of Siberian silkmoth outbreaks in eastern Siberia. Int. J. Remote Sens. 2004;25(24):5543-55.
21. Knyazeva, SV, Koroleva NV, Eidlina SP, Sochilova YeN. Health of vegetation in the area of mass outbreaks of Siberian moth based on satellite data. Contemp Probl Ecol. 2019;12(7):743-52.
22. Kovalev A, Soukhovolsky V. Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data. Forests. 2021;12(9):1188.
23. Mattson WJ. Escalating anthropogenic stresses on forest ecosystems: forcing benign plant-insect interactions into new interaction trajectories. In: World Forest Congress. Finland; 1997. P. 1-6.
24. Niinemets Ü. Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: Past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. Forest Ecol Manag. 2010;260(10):1623-39.
25. Pavlov IN, Litovka YA, Golubev DV, Astapenko SA, Chromogin PV. New outbreak of *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. in Siberia (2012–2017): monitoring, modeling and biological control. Contemp Probl Ecol. 2018;11(4):406-19.
26. Seidl R et al. Forest disturbances under climate change. Nat Clim Chang. 2017;7(6):395-402.
27. Sultson SM, Goroshko AA, Mikhaylov PV, Demidko DA, Ponomarev EI, Verkhovets SV. Improving the monitoring system. In: Towards Early Detection and Prediction of the Siberian Moth Outbreaks in Eastern Siberia. Proceedings, 2021. P. 68.
28. Sultson SM, Goroshko AA, Verkhovets SV, Mikhaylov PV, Ivanov VA, Demidko DA, Kulakov SS. Orographic factors as a predictor of the spread of the Siberian silk moth outbreak in the mountainous southern taiga forests of Siberia. Land. 2021; 10(2):1-16.
29. Tchebakova NM, Parfenova Ye, Soja AJ. The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. Environ Res Lett. 2009;(4):045013.
30. Teshome DT, Zharare GE, Naidoo S. The threat of the combined effect of biotic and abiotic stress factors in forestry under a changing climate. Front Plant Sci. 2020;(11):601009.
31. Zhirin VM, Knyazeva SV, Eydlina SP. Long-term dynamics of vegetation indices in dark coniferous forest after Siberian moth disturbance. Contemp Probl Ecol. 2016;9:834-43.

КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФЛОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ (ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ) НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

А.В. Иванова

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

Эл. почта: nastia621@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21.10.2022; принята к печати 24.01.2023

Биоразнообразие является важным аспектом устойчивости биосферы. Оно имеет как научное значение, так и практическое, связанное с решением природоохранных вопросов. Одним из фундаментальных компонентов биоразнообразия можно считать разнообразие сосудистых растений. Развитие ботанико-географических исследований привело со временем к наличию двух направлений, базирующихся на принципиально различных категориях организации растительного мира – флоре и растительности. Для рассмотрения флористического уровня организации биоты необходимо разработать критерии выделения естественных флористических единиц, которые могут служить исходным материалом для исследований. Целый ряд биогеографических работ выполнен на данных по сеточному картированию. При этом размер ячейки и число видов, зарегистрированных в ней, зачастую не могли представлять естественную природную флору. Для исследования вопросов зависимости состава флор от экологических факторов на какой-либо территории необходимо создание на ней сети локальных флор. Каждая из описанных локальных флор должна максимально точно отображать флористические параметры своей местности. Важнейшими характеристиками флоры являются число видов и площадь, с которой флора описана. Путем обобщения собственных исследований, а также анализа ряда литературных источников по этой тематике в данной статье предложены критерии (параметры) для локальных флор Самаро-Ульяновского Поволжья. Показано, что минимальное число видов в локальной флоре данной местности должно достигать 600, и оптимальная площадь выявления флоры должна составлять 400 км². Указанные параметры, безусловно, являются ориентировочными. В каждом конкретном случае они могут определяться индивидуально, так как зависят от различных особенностей территории: антропогенная освоенность, инфраструктура ландшафта и т. д.

Ключевые слова: биоразнообразие, конкретная флора, локальная флора, «проба флоры», таксономические параметры, флористическая выборка.

LOCAL FLORA SELECTION CRITERIA FOR STUDYING OF FLORISTIC DIVERSITY (PHYTODIVERSITY) AT THE REGIONAL LEVEL

A.V. Ivanova

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

E-mail: nastia621@yandex.ru

Biodiversity is an important aspect of the sustainability of the biosphere. It is important in both basic and applied terms for solving of environmental problems. The diversity of vascular plants is one of the fundamental components of biodiversity. The development of botanical and geographical research gradually took two directions based on fundamentally different categories of plant world conceptualization – flora and vegetation. To consider the floristic level of biota organization, it is necessary to develop criteria for identifying natural floristic units, which can serve as a source material for research. A number of biogeographic studies have been carried out using grid mapping data. At the same time, grid cell size species number records often did not represent the natural flora. It is expedient to devise a network of local floras in order to study the dependence of the composition of floras on environmental factors in a given territory. Each of the local floras thus described should reflect the floristic parameters of its area as accurately as possible. The most important characteristics of flora are the number of species and the area to which the flora is referred. We summarized our original research and reviewed a number of literary sources on this topic to propose criteria (parameters) for local floras of Samara-Ulyanovsk Volga Region. It is shown that the minimum number of species in the local flora of a given area should reach 600, and the optimal area for flora detection should be 400 km². The specified parameters are, of course, but indicative. In each specific case, they should be determined individually as they depend on various features of the territory such as anthropogenic development, landscape infrastructure, etc.

Keywords: biodiversity, specific flora, local flora, «flora's sample», taxonomic parameters, floristic sampling.

Введение

Понятие «биоразнообразие» вошло в широкий научный обиход в 1972 году на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде, где тема охраны живой природы была обозначена как приоритетная при осуществлении любой деятельности человека на Земле. Через двадцать лет, в 1992 году в Рио-де-Жанейро во время Конференции ООН по окружающей среде и развитию была принята Конвенция о биологическом разнообразии, которую подписали более 180 стран, в том числе и Россия. Для успешной реализации Конвенции необходимо было создать научную основу, определяющую стратегию его учета и сохранения. В 1992 году в Ленинграде состоялась совместная конференция Ботанического и Зоологического институтов АН СССР «Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению». К настоящему времени стратегии по сохранению биоразнообразия продолжают развиваться и насыщаться различными проектами как на международном [32], так и на региональном уровне.

Научный подход к изучению биоразнообразия подразумевает в первую очередь инвентаризацию биоты на всех уровнях организации живых организмов, определение единиц его изучения, исследование закономерностей формирования биоразнообразия и роль различных экологических факторов в данном процессе. Кроме фундаментального научного значения, это направление в биологии нацелено на решение природоохранных вопросов [50] и практических задач для устойчивого развития регионов [19].

Применительно к задачам биогеографического направления предложена система категорий разнообразия, формирование которой связано с трудами Уиттекера [46, 73], а также ряда других ученых [6, 19, 24]. Выделены виды (категории, уровни) биоразнообразия.

Важным аспектом изучения биоразнообразия в целом является исследование фиторазнообразия. В данной работе изложен опыт выделения флористических единиц (локальных флор), которые могут быть использованы для изучения закономерностей сложения флор, а также зависимости состава флор от различных экологических факторов.

Изучение флористического уровня организации биоты

Особый подход, подразумевающий изучение географического распределения «более высоких, чем вид, систематических единиц», заключается в рассмотрении флористического уровня организации биоты, который соответствует γ -разнообразию территории (для ландшафта или серии проб, включающей более чем один тип сообщества) [46]. При этом более высокие, чем вид, систематические единицы – род, семейство, отдел – представлены долями в составе

соответствующих флор. Значения параметров флоры (таксономические, географические, геоморфологические и др.) зависят от ее географического положения. Закономерности изменений этих параметров и являются предметом изучения указанного раздела ботанической географии.

Для реализации данного подхода важным методическим вопросом является выбор единицы изучения. Причем чем шире географически предполагается охват территории, тем сложнее выработать общий подход для решения этой задачи. Наиболее простое решение демонстрирует распределение накопленных флористических данных по регулярной сетке, наложенной на изучаемую территорию.

Большое число работ такого рода выполнено методами сеточного картирования. Сеточное картирование возникло ввиду потребности трансформации исходных данных по инвентаризации флоры в некую систему. Этот подход наиболее распространен в Европе. Регулярная сетка, накладываемая на карту изучаемой территории, предполагает выбор размера ячеек как единицы изучения. Общевропейский проект «Атлас флоры Европы», в рамках которого выпускался атлас с 1972 по 2015 год, отображает информацию по квадратам 50×50 км [71]. На территориях отдельных европейских стран сеточное картирование осуществлялось по более мелким сеткам. Для территорий Великобритании и Ирландии сеточные атласы флоры были созданы на основе регулярной сетки по квадратам площадью 100 км^2 [69], Бельгии и Люксембурга – с ячейками 16 км^2 [72], Нидерландов – с использованием сетки 25 км^2 [66–68], а впоследствии и километровой [60], Западной Германии – с ячейками $120\text{--}140 \text{ км}^2$ [64] и др. В СССР полномасштабные проекты по сеточному картированию флоры существовали только в прибалтийских республиках. Достаточно полный обзор работ по сеточному картированию можно увидеть в работах А.П. Серегина [38]. Им же созданы три флористических атласа, охватывающих весь объем флоры сосудистых растений: итоговый атлас для всей Владимирской области [36] и два издания атласа для территории национального парка «Мещера» по вчетверо меньшим квадратам [37, 40].

Следует отметить, что сеточное картирование подразумевает хорошую равномерную первоначальную изученность территории. Отчасти поэтому существует мнение, что данный метод может быть использован для изучения флоры небольших территорий [25]. Очевидно, что, чем больше территория, тем более проблематично ее тщательно изучить. Между тем, ботанико-географические закономерности «выявляются в полной мере лишь при сравнительном рассмотрении их в широкой географической перспективе...» [45]. Это положение казалось существенным еще А. Декандолю [62], основоположнику сравнительной флористики.

Также сеточное картирование обеспечивает равномерность изучения [38] ввиду наглядности полученных результатов и возможности системного их планирования. Ячейка, имеющая правильные геометрические формы, далеко не всегда отражает естественные природные особенности территории, отражением которых является биота с сопутствующими ей параметрами.

Кроме сеточного картирования, часто информация о распределении видов флоры различных регионов РФ преподносится в виде «точек» на карте, в том числе и в конспектах флор [2, 7, 8, 41 и др.].

При использовании флористических данных для изучения экологических закономерностей важно понимать, что в зависимости от выбора единицы изучения можно получить несколько различные результаты. Это могут быть экологические закономерности распределения видового богатства (по числу видов в ячейке) или закономерности сложения флор. Как отмечено, у ячейки могут быть различные размеры. При этом вовсе не подразумевается, что она вмещает в себя целостную флору как сложившуюся систему. Существующие карты видового богатства для различных территорий подразумевают ячейку единого размера для всей выбранной территории.

Локальная флора как единица изучения фитогеографических закономерностей

Для изучения разнообразия флор необходимо накопление данных в виде именно естественных флористических единиц, имеющих свои признаки и параметры, зависящие от их географического расположения и условий формирования. Таким требованием соответствует предложенное А.И. Толмачевым понятие «конкретной флоры» [43, 44]. Согласно идее А.И. Толмачева участок, который может представлять флору такого рода, должен быть представлен минимальной территориальной единицей, в пределах которой «виды растений распределяются всецело в зависимости от условий местообитаний, при повторении которых повторяется и отвечающая им совокупность видов» [43].

Метод конкретных флор получил широкое распространение среди советских ботаников. Усилиями целого ряда специалистов было изучено довольно большое количество конкретных флор, расположенных в различных флористических областях и районах нашей страны [3, 17, 22, 23, 30, 31, 34, 54, 55 и др.]. В ходе теоретического развития и практического применения метода конкретных флор сложились две концепции взглядов на саму конкретную флору [53].

Представителями первого направления являлись сотрудники лаборатории Крайнего Севера Ботанического института АН СССР, в том числе Б.А. Юр-

цев и Л.И. Малышев. Они рассматривали конкретную флору как «флору географического пункта», «пробы флористической ситуации в данной точке земной поверхности» или просто «пробы флоры», что соответствует «минимум-ареалу» [57]. Данные, полученные при исследовании пробы флоры, дают представление о всей конкретной флоре [53].

При увеличении площади обследования минимального ареала конкретной флоры мы сначала вступаем в «мертвую зону», где приток новых видов растений значительно сокращается. Иногда делаются единичные новые находки, в других случаях целая серия не встречавшихся до того видов попадает одновременно. Ход изменения состава растений различен и зависит от встречающегося разнообразия местообитаний. В уже известных нам типах местообитаний начинают попадаться новые или, наоборот, исчезать ранее регулярно встречавшиеся виды растений. Это сигнализирует о достижении истинных границ, то есть «максимум-ареала».

Этот момент обследования территории будет соответствовать конкретной флоре района в понимании флористами, которые придерживаются второго направления развития метода конкретных флор. Это флористы кафедры ботаники Ленинградского университета (Н.А. Миняев, В.М. Шмидт и др.) [53], которые считали, что именно исследование «максимум-ареала» способно выявить полный видовой состав растений. Было показано, что при уменьшении радиуса обследованной площади теряется до 22% видов, что свидетельствует о явной недостаточной репрезентативности участка. Причем среди недоучтенных часто оказываются редкие виды [53].

Однако в более поздних работах В.М. Шмидта утверждается, что для выявления основного состава флоры не обязательно достижение максимум-ареала: «30-летний опыт работы этим методом убеждает нас в том, что вполне достаточная полная инвентаризация конкретной флоры достигается и при изучении ее минимум-ареала, что требует значительно меньше времени и сил» [54]. В работе [54] подведены итоги изучения и сравнения 24 флор на территории Архангельской области, которые авторами обозначены как конкретные флоры.

В процессе использования метода конкретных флор на практике возникает понятие «локальная флора» [51, 58], которое впоследствии все чаще встречается в работах отечественных ботаников [1, 4, 5, 20, 25–28, 35, 39, 48 и др.]. Практически целый ряд исследователей используют термин «локальная флора», или же конкретная/локальная флора, выделяя единицы для сравнения либо характеризую описанную флору в какой-либо местности.

Р.В. Камелин при анализе флоры рекомендует обращать внимание на ее размерность. При этом он вы-

деляет флоры территорий трех уровней размерности: локального, регионального и субглобального. Локальный уровень соответствует «площади от нескольких сот до 2–3 (иногда 10) тысяч км²», региональный – «в несколько десятков тысяч км² и примерно до 1–1,5 миллионов км²» [18]. Таким образом, понятие «локальная флора» довольно прочно вошло в обиход, и им оперируют в настоящее время многие флористы.

На наш взгляд, понятие «локальная флора» не тождественно понятию «конкретная флора». Конкретная или элементарная флора – флора регионального уровня, которая представляет территорию геоботанического района, или элементарного геоботанического района [43], или «физико-географического ландшафта (в не слишком укрупненной трактовке) при условии, что через них не проходит ни одна региональная флористическая граница» [59]. С учетом таких соображений площадь конкретной флоры не может быть каким-либо образом стандартизирована в зависимости, например, от ее расположения в пределах определенной природной зоны. Она может быть различной в зависимости от масштаба действия природных условий, под влиянием которых сформировалась. «Границы конкретной флоры, в соответствии с методикой эмпирически определяемые на местности в ходе полевых работ, обусловлены не квадратными километрами, а биотическими и историческими факторами, действовавшими в прошлом в данном районе» [52].

Иное можно сказать о площади выявления флоры, на которой исследуется «проба флоры», «проба флористической ситуации», ареал-минимум и которой часто ограничивается исследование данной региональной флоры. Именно такого рода содержание вкладывается в понятие локальной флоры, возникшее позже и встречающееся сейчас в целом ряде работ. Равнозначное же толкование данных понятий, очевидно, проистекает из того, что «на своей площади выявления (ареале-минимуме) конкретная, или элементарная, флора выявляется практически полностью» [59].

Итак, для решения биогеографических задач на уровне флоры, а именно для выявления закономерностей зависимости параметров флор от различных экологических факторов, необходимо иметь сеть описанных локальных флор (минимальных ареалов) на исследуемой территории. При такой постановке проблемы возникает ряд методических вопросов о требованиях к локальным флорам.

Наиболее тщательно к ревизии имеющихся на тот момент локальных флор (ЛФ) Арктики предлагал подходить Б.А. Юрцев [56]. Планируя создание целой сети ЛФ для мониторинга биоразнообразия, он предлагал критерии отбора флор: полнота изученности, степень изученности на территории различных таксономических групп, типичность или уникальность ландшафтов территории и др. Для каждой ЛФ, включенной в

сеть мониторинга, составлялся паспорт-анкета, включающий 15 пунктов, ее характеризующих [56].

Тщательность отбора такого рода объектов диктовалась еще и требованием флористической однородности. ЛФ совпадает с площадью выявления конкретной флоры (а значит и с минимальным ареалом) в том случае, «если этот пункт расположен в пределах однородного ландшафта» [56]. Если же ЛФ включает в себя части двух-трех смежных конкретных флор или расположена в пределах флористического экотона, она не может представлять элементарную флору. В этом случае она в определенной степени будет иметь «смешанные» черты. Между тем, анализ такого рода «смешанных» флор тоже имеет смысл. В этом случае главное для исследователя – правильно сформулировать цели и задачи исследования и интерпретировать результаты.

На требовании флористической однородности исследуемого контура акцентировал внимание и А.И. Толмачев. Он предлагал с особым вниманием и осторожностью подходить к флорам, занимающим «в плане флористического районирования “пограничное” положение», однако считал, что изучение территорий такого рода «вообще не бесперспективно и может способствовать решению некоторых спорных вопросов флористического районирования» [45]. В зависимости от целей и задач планируемого исследования возможно использование различных участков локальных флор. Например, Б.А. Юрцев считал, что «участки экотона между фитоценозами или зонами (подзонами), а также области контакта контрастных районов или ландшафтов» также заслуживают включения в сеть мониторинга биоразнообразия. Ведь именно здесь «последствия глобальных изменений климата... должны проявиться раньше всего и в наиболее резкой форме» [56].

Таким образом, понятие «локальная флора» в настоящее время требует более четкой конкретизации своих параметров. И эта конкретизация, по крайней мере на первом этапе, желательна на региональном уровне, так как природные условия в более широких масштабах могут различаться весьма существенно. Большая часть наших исследований флористического разнообразия происходила в зоне лесостепи на территории Самаро-Ульяновского Поволжья (Предволжья и Заволжья), которое принадлежит Среднему Поволжью. Таким образом, полученные выводы касаются в первую очередь данной территории.

С нашей точки зрения, локальная флора имеет две важнейшие, связанные между собой характеристики: число видов (репрезентативная выборка) и площадь, на которой они зафиксированы. Значения этих двух величин являются важнейшими критериями для оценки имеющихся локальных флор с точки зрения возможности их включения в анализ.

Число видов во флоре

Если локальная флора в достаточной мере должна характеризовать конкретную (элементарную) флору территории, которой она принадлежит, то число видов в ней должно приближаться к свойственному флоре данной местности. Существует ряд карт видового богатства, которые несут информацию о числе видов на единицу площади. Следовательно, число видов для исследуемой местности возможно оценить предварительно. Для территории бывшего СССР Л.И. Малышевым опубликованы картосхемы флористического богатства для стандартных площадей 100, 1000, 10000 и 100000 км². Согласно этим данным, для территории Самаро-Ульяновского Поволжья на площади 100 км² видовое богатство в среднем должно приближаться к 600 видам [21]. Согласно карте (цит. по [61]) для изучаемой нами территории на площади 10 000 км² число видов сосудистых растений изменяется в диапазоне 500–1000 видов. В.М. Шмидт для европейской части бывшего СССР составил картосхему числа видов сосудистых растений в «конкретных и близких к ним флорах» [52]. На данной картосхеме самая близкая к интересующей нас территория

представлена несколькими точками, относящимися в основном к верхнему Поволжью. Диапазон видового богатства здесь обозначен интервалом 664–809 видов. Одна из точек представляет Сергиевские Воды, окрестности Бугуруслана (по данным А.И. Толмачева), и видовое богатство составляет здесь 744 вида.

При этом открытым остается вопрос о том, достаточно ли указанное упомянутыми авторами число видов, чтобы представлять флору данной местности. Оно может быть недостаточно, или же представлять территорию с неоднородным ландшафтом, и поэтому число видов в данном списке завышено. Для ответа на данный вопрос необходимо иметь серию флористических выборок с различным числом видов. Причем данные для этих выборок должны быть собраны с территории, находящейся в пределах однородного ландшафта» [56]. Самая же выборка должна, бесспорно, представлять флору данной местности. По самой полной выборке необходимо установить контрольные параметры флоры.

Установление параметров флор, характерных для Среднего Поволжья, нами производилось по спискам видов высших сосудистых растений, соответ-

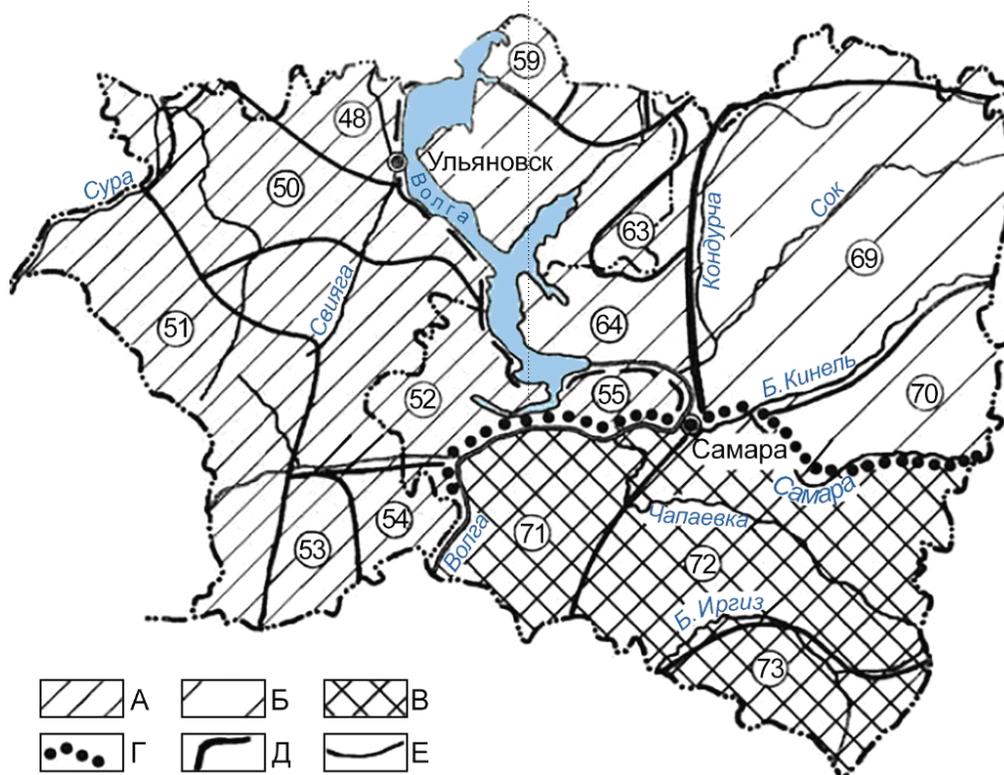


Рис. 1. Физико-географические районы Самаро-Ульяновского Поволжья (по [47]): А – лесостепная провинция Предволжья; Б – лесостепная провинция Заволжья; В – степная провинция Заволжья; Г – граница физико-географических зон; Д – граница физико-географических провинций; Е – граница физико-географических районов. Физико-географические районы: 48 – Средне-Свияжский; 50 – Корсунско-Сенгилевский; 51 – Инзенский; 52 – Свяго-Усинский; 53 – Сызранско-Терешкинский; 54 – Южно-Сызранский; 55 – Жигулевский; 64 – Мелекесско-Ставропольский; 69 – Сокский; 70 – Самаро-Кинельский; 71 – Чагринский; 72 – Сыртовый; 73 – Иргизский

ствующих физико-географическим подразделениям (районам и провинциям) согласно районированию А.В. Ступишина. В пределах Самаро-Ульяновского Поволжья присутствует 15 районов [47] (рис. 1). Данные по флоре этих выделов накапливались в течение ряда лет, и не все они были исследованы одинаково равномерно. Поэтому в анализ были включены только районы, для которых число зафиксированных видов оказалось максимальным по сравнению с остальными и составляло 1000–1256.

Площади физико-географических районов составляют 2,3–9,7 тыс. км² [47]. Заметим, что эти величины по размерности попадают в интервал между локальным и региональным уровнями по Р.В. Камелину [18]. В связи с этим интересным является вопрос, могут ли они рассматриваться как локальные флоры. Этот вопрос для некоторых районов был исследован нами отдельно [13, 15]. Полученные результаты не дают возможности отнести флоры физико-географических районов к уровню локальных флор, так как выделенные внутри районов флористические выборки отличались между собой по ряду признаков (параметров). Используемые выборки содержали 600–800 видов, территориально располагались в различных частях районов. Различия их наблюдались как по видовому составу с превышением числового порога 0,27, определяемому с помощью коэффициента Престона [70], так и по некоторым другим таксономическим параметрам. В частности, в некоторых случаях выборки различались по типу флоры, определяющемуся по третьему члену спектра семейств [49].

С использованием таксономических спектров флор физико-географических районов были определены основные параметры флор, которые приняты необходимыми для нашей местности. Так, для спектра семейств характерно присутствие ведущей тройки: Asteraceae, Poaceae, Fabaceae (в некоторых случаях Asteraceae и Poaceae, Rosaceae) [16]. Десять ведущих семейств флоры составляют 58–61%, семейства с одним видом – 2,1–3,3%. В спектре семейств адвентивной фракции флоры лидируют следующие семейства: Asteraceae, Poaceae, Brassicaceae и Chenopodiaceae. Их реальный порядок может различаться у отдельных физико-географических районов [14].

Спектр родов (по сравнению со спектром семейств) способен более подробно выявлять индивидуальные черты изучаемых флор. Однако несколько родов для районов изучаемой территории были определены как ведущие: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus*, а также род *Salix*. Первое место в родовом спектре занимает род *Carex* [9].

Безусловно, по природным условиям изучаемая местность неоднородна, а следовательно, каждая из флор районов имеет свои индивидуальные черты. Однако близость расположения, принадлежность к од-

ной природной зоне дала нам основание опираться на эти данные.

С помощью установленных таксономических параметров нами был определен необходимый видовой объем флористической выборки, который может характеризовать региональную флору территории, то есть являться локальной флорой. Для соблюдения принципа «однородного ландшафта» [56] была выбрана модельная территория одного из физико-географических районов (Сокского, номер 69, рис. 1), которая была изучена наиболее полно. На данной модельной территории, принадлежащей к лесостепной провинции Высокого Заволжья, была изучена зависимость параметров таксономических спектров ряда флористических выборок от числа видов в этих выборках. Установлено, что значения параметров достигаются не одновременно, а постепенно при увеличении числа видов. Была предложена шкала установления флористических параметров в зависимости от числа видов в выборке для данной территории [12].

В предложенной шкале отражены значения параметров спектров семейств и родов в зависимости от числа видов в выборке. Самыми ключевыми, на наш взгляд, являются следующие: 300 видов – все ведущие роды (*Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus* и *Salix*) появляются в спектре родов; 700 видов – в спектре семейств устанавливается правильный порядок триады ведущих семейств; 1000 видов – в спектре родов род *Carex* переходит на первое место. Формирование таксономических спектров на этом не заканчивается. Для обследованного нами более подробно Сокского физико-географического района все роды, обозначенные нами как ведущие, перемещаются в головную часть спектра родов при 1100 видах в выборке.

В ряде наших работ также показано, что некоторые одноименные параметры у разных флор достигаются при различном числе видов. Очевидно, эти признаки также могут служить как характеристики флоры. Еще одной флорой, изученной нами более подробно, оказалась флора Иргизского физико-географического района, находящегося в степной зоне (рис. 1). Полученная шкала параметров спектров семейств и родов в зависимости от числа видов в выборке не по всем показателям совпадает с таковой для Сокского района. Но вместе они более полно обрисовывают картину установления таксономических параметров флор при увеличении числа видов (рис. 2).

Самым изученным признаком данной серии является установление триады ведущих семейств. Он определяется по кривой, которую можно условно назвать «кривой расстановки семейств». Она отражает зависимость долей ведущих семейств от числа видов в выборке. У флоры, описанной на юго-востоке Сокского района, триада ведущих семейств устанавливается при 400 видах в выборке [10]. Также раньше проявля-

ется свойственный ей *Fabaceae*-тип у «Тамалинской» флоры, описанной на юго-западе Пензенской области. Триада ведущих семейств устанавливается здесь при 500 видах в выборке [11].

Территория Среднего Поволжья, в северо-западной части которой находится республика Чувашия, а юго-восток представлен южной частью Самарской области, граничащей с Казахстаном, весьма различна по природным условиям. В связи с этим некоторые таксономические признаки флор имеют иные значения. Так, род *Carex* во флорах физико-географических районов, принадлежащих территории Чувашии (Засурский район), находится на первом месте в спектре родов при 917 видах [63]. Причем доля во флоре у этого рода уже существенно больше, чем у остальных лидирующих. Это дает основания полагать, что он выходит на первое место существенно раньше, чем 900 видов.

Таким образом, единую шкалу для такой территории, как Среднее Поволжье, можно установить лишь с использованием диапазонов значений. Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что локальная флора, принадлежащая данной территории, должна включать не менее 600 видов.

Площадь участка локальной флоры

Площадь участка, на котором описана флора, является второй важнейшей величиной, ее характеризующей. Установление ее значения очень важно для уни-

фикации методического подхода при наборе данных по локальным флорам для тех или иных целей. Между тем, вопрос о площади выявления флоры является одним из самых сложных и мало затрагиваемых.

Площадь выявления флоры фактически близко к понятию минимального ареала флоры, которое встречается в работах отечественных ботаников [52, 54, 56, 57]. Некоторые сведения о размерах минимальных ареалов флоры различных природных зон имеются в литературе. А.И. Толмачев определял минимальную площадь, достаточную для полноты выявления тундровой флоры, в 100 км² [43]. Обобщая свои исследования флоры полуострова Таймыр, Е.Б. Поспелова и И.Н. Поспелов отмечают, что большинство специалистов, проводивших исследования в данной природной зоне, придерживается этой величины, хотя на практике часто площадь обследования бывает и меньшей. «Во-первых, опыт показал, что в горных районах классической минимальной площади в 100 км² явно недостаточно». «Во-вторых, площадь обследования вообще, по-видимому, должна увеличиваться при усложнении инфраструктуры ландшафта обследуемого района» [29]. По результатам собственных исследований авторы сделали вывод, что «площадь порядка 300–400 км² вполне достаточна для максимально полного выявления флоры на равнинных участках и 500–600 км² на горных, но обследование такой площади, естественно, требует большего времени» [29].

Опыт исследования флор в различных природных

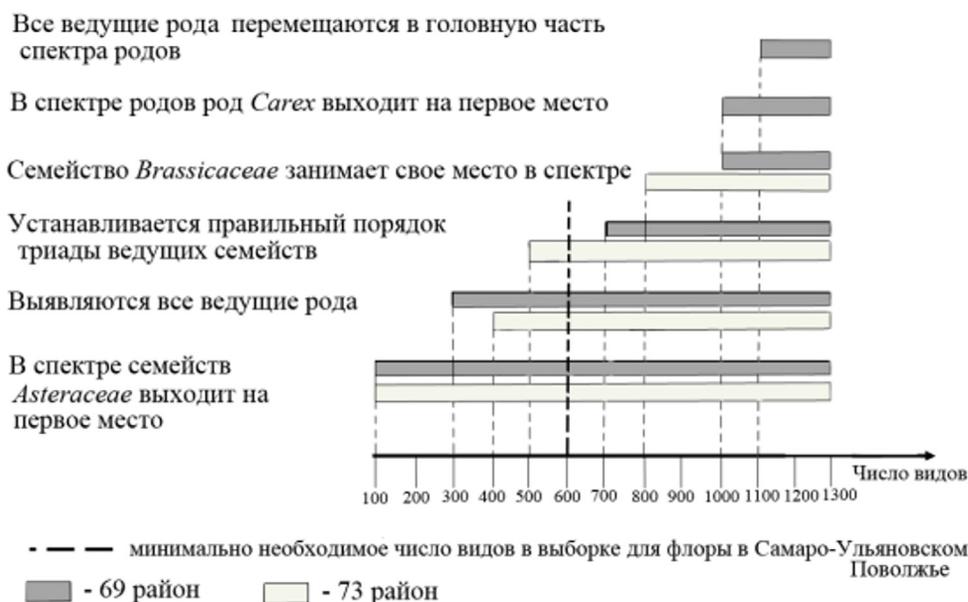


Рис. 2. Схема соотношения размеров флористической выборки с таксономическими параметрами. Номера физико-географических районов соответствуют таковым на рис. 1

зонах обобщен в работе В.М. Шмидта: для лесотундры определена цифра 300 км², в южной полосе средней тайги – до 600 км² [54]. В условиях Латвии значение указанного параметра составляет 600–650 км² [42]. Достоверных сведений такого рода о степной и лесостепной зонах нет. Р.В. Камелин отмечает, что данная величина изменяет свое значение в зависимости от условий природной зоны. Он же указывает возможный диапазон «для зоны широколиственного леса или лесостепи, степи... до 400–450 км²» [18].

Для оценки соотношения «число видов – площадь» в условиях Самаро-Ульяновского Поволжья нами использован ряд данных, опубликованных разными авторами, о видовом богатстве территории с указанной площадью обследования. Изображенная на схеме территория изучена не равномерно, однако имеющиеся данные позволяют сделать вывод о видовом богатстве на единицу площади. Среди обследованных объектов были как особо охраняемые территории, так и населенные пункты. Данные о числе видов нанесены на регулярную сетку 10×10 км², по изображению которой можно понять, что флористический порог в 300–400 видов для условий изучаемой территории может быть достигнут на площади 100 км² лишь в отдельных случаях (рис. 3). Видовое богатство же в 600–800 видов соответствовало площади 400 км² [65]. Используемые данные дают представление о территории Самаро-Ульяновского Заволжья. Самарское Предволжье, включающее в себя фрагмент восточной части Приволжской возвышенности, содержит в себе флористические районы Самарской Луки. Для них также имеются сведения о соотношении «число видов – площадь»: Жигулевский район – 440 км², 690 видов; Винновский – 380 км², 480 видов; Александровский –

490 км², 510 видов; Переволокско-Усинский – 100 км², 550 видов [33].

Весьма вероятно, что и внутри природной зоны площадь выявления флоры не остается строго постоянной. Она, безусловно, зависит от различных особенностей территории: антропогенная освоенность, инфраструктура ландшафта и так далее. Однако для ориентировочного значения на территории лесостепной зоны вполне возможно оперировать величиной 400 км².

Заключение

Понятие «локальная флора» часто встречается в литературе. Между тем предпринимается мало попыток конкретизировать его. Это можно объяснить как сложностью самого понятия, так и сомнительной возможностью унификации его в масштабах крупного региона. Как отмечалось выше, некоторые параметры могут различаться и в пределах нашей модельной территории, что является предметом отдельного исследования. Изучение зависимости флористических параметров от размера выборки дало возможность установить минимально необходимое количество видов в составе локальной флоры. Соотнесение данных о числе видов с размерами изученной территории позволило оценить оптимальную площадь выявления флоры. Таким образом, локальная флора в пределах территории Среднего Поволжья должна иметь в своем составе не менее 600 видов и соответствовать площади около 400 км².

Исследование проведено в рамках государственного задания по теме с регистрационным номером 1021060107217-0-1.6.19.

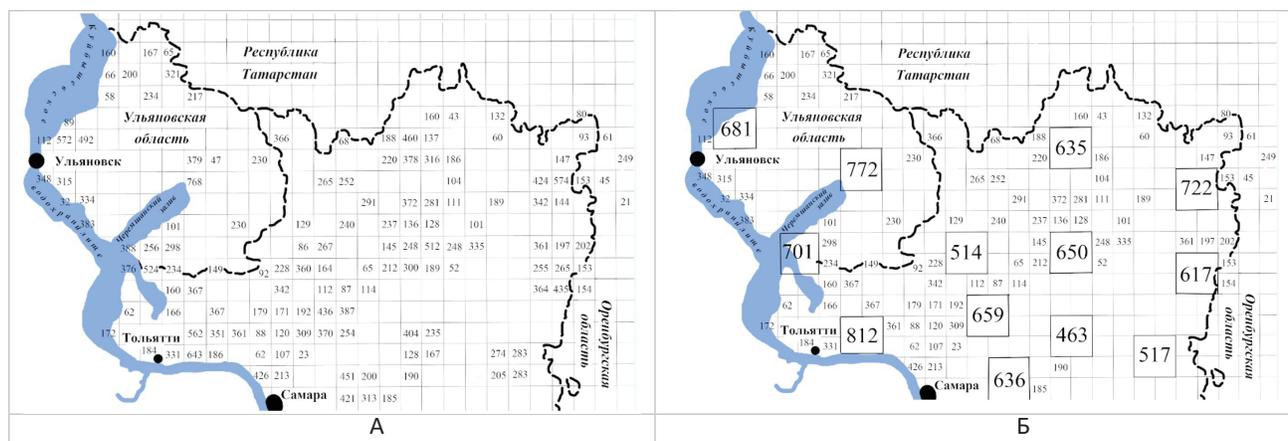


Рис. 3. Схема распределения числа видов высших сосудистых растений по территории северо-востока Самаро-Ульяновского Заволжья. Размер квадрата сетки 10×10 км (А, Б). Максимально выявленное число видов для 13 участков 400 км² (Б)

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Антипова ЕМ. Таксономическая структура локальных флор северных лесостепей Средней Сибири. В кн.: Сравнительная флористика: Материалы Всероссийской школы семинара по сравнительной флористике. Пенза; 2010. С. 74-9.
2. Бакин ОВ, Рогова ТВ, Ситникова АП. Сосудистые растения Татарстана. Казань: Изд-во Казанского ун-та; 2000.
3. Баранова ЕВ. Материалы к анализу конкретных флор Псковской области. Вестник Ленинградского университета. 1973;(15):30-7.
4. Баранова ОГ. Сравнительный анализ локальных флор Удмуртии. В кн.: Актуальные проблемы сравнительного изучения флор. 1994. С. 97-105.
5. Баранова ОГ, Ильминских НГ, Науменко НИ. Локальная флора «Кудрино» Воткинского района Удмуртии. Вестник Удмуртского университета. 1999; 5(2):113-23.
6. Гиляров АМ. Индекс разнообразия и экологическая сукцессия. Журнал общей биологии. 1969;30(6):652-7.
7. Ефимов ПГ. Орхидеи северо-запада Европейской России. М.: КМК; 2011.
8. Ефимов ПГ. Орхидеи северо-запада Европейской России. М.: КМК; 2012.
9. Иванова АВ, Костина НВ, Аристова МА. Родовой спектр в анализе флоры Самаро-Ульяновского Поволжья. Изв Саратовского ун-та. Сер Хим Биол Экология. 2019;19(2):196-206. doi: 10.18500/1816-9775-2019-2-196-206.
10. Иванова АВ. Особенности таксономической структуры флоры юго-восточной части Сокского физико-географического района. В кн.: Систематические и флористические исследования Северной Евразии: материалы II Международной конференции (к 90-летию со дня рождения профессора А.Г. Еленевского). М.; 2018. С. 226-9.
11. Иванова АВ, Васюков ВМ, Костина НВ, Горбушина ТВ, Новикова ЛА, Лысенко ТМ. Таксономические особенности флор лесостепной зоны Среднего Поволжья. Экосистемы. 2020; 21(51):18-30. doi: 10.37279/2414-4738-2020-21-18-30.
12. Иванова АВ, Костина НВ, Аристова МА. Зависимость таксономических параметров флор от размеров выборки. Изв Саратовского ун-та. Сер Хим Биол Экол. 2020; 20(4):404-16.
13. Иванова АВ, Костина НВ, Лысенко ТМ. Изучение неоднородности территории по кривой «виды-площадь» для исследования ее флористической структуры (на примере Сокского физико-географического района). Самарский научный вестник. 2018;2(23):49-55.
14. Иванова АВ, Костина НВ, Лысенко ТМ. Основные черты семейственного спектра адвентивной фракции флоры Самаро-Ульяновского Поволжья. Самарский научный вестник. 2018;7(4):35-40.
15. Иванова АВ, Костина НВ, Лысенко ТМ, Козловская ОВ. Особенности флоры Мелекесско-Ставропольского физико-географического района. Самарский научный вестник. 2017;4(21):47-53.
16. Иванова АВ, Костина НВ, Розенберг ГС, Саконов СВ. Семейственные спектры флор территории Волжского бассейна. Ботанический журнал. 2016;101(9):1042-55.
17. Ильминских НГ, Шадрин ВА. Некоторые итоги изучения конкретных флор Удмуртии. В кн.: Региональные флористические исследования. 1987. С. 93-104.
18. Камелин РВ. География растений. Учебное пособие. СПб.: Изд-во ВВМ; 2018.
19. Лебедева НВ, Кривоуцкий ДА. Биологическое разнообразие и методы его измерения. В кн.: География и мониторинг разнообразия. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра; 2002. С. 8-75.
20. Леострин АВ. Сравнительный анализ флоры северо-запада Костромской области. В кн.: Сравнительная флористика: анализ видового разнообразия растений. Проблемы. Перспективы. Сборник статей по материалам X Международной школы-семинара по сравнительной флористике. Краснодар; 2014. С. 67-72.
21. Малышев ЛИ. Биологическое разнообразие в пространственной перспективе. В кн.: Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению. Материалы конференции БИН РАН и ЗИН РАН. СПб.; 1992. С. 41-52.
22. Матвеева НВ. Флора и растительность окрестностей бухты Марии Пронищевой (северо-восточный Таймыр). В кн.: Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра. Л.: Наука; 1979. С. 78-109.
23. Матвеева НВ, Заноха ЛЛ. Флора сосудистых растений северо-западной части полуострова Таймыр. Ботанический журнал. 1997; 82(12): 1-20.
24. Миркин БМ, Розенберг ГС, Наумова ЛГ. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука; 1989.

25. Морозова ОВ. Таксономическое богатство Восточной Европы. Факторы пространственной дифференциации. М.: Наука; 2008.
26. Неронов ВВ. Разнообразие локальной флоры юго-запада черных земель Калмыкии и ее эколого-географический анализ. В кн.: Сравнительная флористика: анализ видового разнообразия растений. Проблемы. Перспективы. Сборник статей по материалам X Международной школы-семинара по сравнительной флористике. Краснодар; 2014. С. 92-5.
27. Николин ЕГ. Локальная флора Нельканского перевала (хребет Тас-Кыстабыт, северо-восточная Якутия). Ботанический журнал. 2019;104(3):414-31.
28. Петровский ВВ, Секретарева НА. Локальная флора верховьев реки Неизвестной (остров Врангеля). Ботанический журнал. 2008;93(6):852-70.
29. Поспелова ЕБ, Поспелов ИН. Флора сосудистых растений Таймыра и сопредельных территорий. Часть 1. М.: КМК; 2007.
30. Поспелова ЕВ. Флора сосудистых растений района озера Левинсон-Лессинга (горы Быранга, центральный Таймыр). Ботанический журнал. 1995;80(2):58-64.
31. Ребристая ОВ. Флора полуострова Ямал. Современное состояние и история формирования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ»; 2013.
32. Розенберг ГС, Кавеленова ЛМ, Костина НВ, Прохорова НВ, Розенберг АГ. Стратегии сохранения биоразнообразия территорий разного масштаба: международный аспект. Биосфера. 2021;13(1-2):1-8.
33. Саксонов СВ. Самаролукский флористический феномен. М.: Наука; 2006.
34. Сергиенко ВГ. Конкретные флоры Канино-Мезенского региона. М.: КМК; 2013.
35. Сергиенко ВГ. Состав и структура локальных флор в восточной части Вологодской области. Ботанический журнал. 2014;99(4):418-42.
36. Серегин АП. Флора Владимирской области: Конспект и атлас. Тула: Гриф и К; 2012.
37. Серегин АП. Новая флора национального парка «Мещера» (Владимирская область): Конспект, атлас, характерные черты, динамика в распространении видов за десять лет (2002–2012). Тула: АСТРА; 2013.
38. Серегин АП. Сеточное картирование флоры: мировой опыт и современные тенденции. Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2013;32: 210-45.
39. Серегин АП. Флора государственного заказника «Троеручица» (Тверская область). Фиторазнообразие Восточной Европы. 2020;14(1):4-31.
40. Серегин АП. Флора сосудистых растений национального парка «Мещера» (Владимирская область): Аннотированный список и карты распространения видов. М.: НИА-ПРИРОДА; 2004.
41. Силаева ТБ, Кирюхин ИВ, Чугунов ГГ, Лёвин ВК, Майоров СР, Письмаркина ЕВ, Агеева АМ, Варгот ЕВ. Сосудистые растения Республики Мордовия (конспект флоры): монография. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та; 2010.
42. Табака ЛВ. Некоторые итоги сравнительного изучения флоры различных природно-территориальных подразделений Латвии. В кн.: Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики: Материалы II рабочего совещания по сравнительной флористике. Л.: Наука; 1987. С. 104-7.
43. Толмачев АИ. Введение в географию растений. Л.: ЛГУ; 1974.
44. Толмачёв АИ. К методике сравнительно-флористических исследований. Понятие о флоре в сравнительной флористике. Журнал Русского ботанического общества. 1931;16(1):111-24.
45. Толмачев АИ. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: Наука; 1986.
46. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс; 1980.
47. Ступишин АВ, ред. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанского ун-та; 1964.
48. Хитун ОВ, Ребристая ОВ. Локальная флора окрестностей мыса Матюйсале – единственная детально изученная ботаниками часть Гыданского заповедника. В кн.: Экология и география растений и растительных сообществ: Материалы IV Международной научной конференции. Екатеринбург; 2018. С. 997-1000.
49. Хохряков АП. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике. Ботанический журнал. 2000;(5):1-11.
50. Чернов ЮИ. Биологическое разнообразие: сущность и проблемы. Успехи современной биологии. 1991;111(4):499-507.
51. Шеляг-Сосонко ЮР. О конкретной флоре и методе конкретных флор. Ботанический журнал. 1980;65(6):761-74.
52. Шмидт ВМ. Статистические методы сравнительной флористики. Л.: Изд-во ЛГУ; 1980.
53. Шмидт ВМ. О двух направлениях развития метода конкретных флор. Ботанический журнал. 1976;(12): 1658-69.
54. Шмидт ВМ. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2005.

55. Шмидт ВМ, Спасская НА, Вальма ВП. Конкретные флоры пос. Любытино и г. Холма Новгородской области. Вестник Ленинградского университета. 1973;(3):41-52.
56. Юрцев БА. Мониторинг биоразнообразия на уровне локальных флор. Ботанический журнал. 1997;82(6):60-9.
57. Юрцев БА. Некоторые тенденции развития метода конкретных флор. Ботанический журнал. 1975;(1):69-83.
58. Юрцев БА. Флора как природная система. Бюлл МОИП Отд Биол. 1982;87(4):3-22.
59. Юрцев БА, Камелин РВ. Основные понятия и термины флористики: Учебное пособие по спецкурсу. Пермь: Пермский университет; 1991.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Antipova EM. [Taxonomic structure of local floras of the northern forest-steppes of Central Siberia]. In: Sravnitel'naya Floristika: Materialy Vserossiyskoy Shkoly Seminara po Sravnitel'noy Floristike. Penza; 2010. P. 74-9. (In Russ.)
 2. Bakin OV, Rogova TV, Sitnikova AP. [Vascular plants of Tatarstan]. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo Universiteta; 2000. (In Russ.)
 3. Baranova YeV. [Materials for the analysis of specific floras of the Pskov region]. Vestnik Leningradskogo Universiteta. 1973;(15):30-7. (In Russ.)
 4. Baranova OG. [Comparative analysis of local floras of Udmurtia]. In: Aktualnye Problemy Sravnitel'nogo Izucheniya Flor. 1994:97-105. (In Russ.)
 5. Baranova OG, Il'minskikh NG, Naumenko NI. [Local flora "Kudrino", Votkinsky district of Udmurtia]. Vestnik Udmurtskogo Universiteta. 1999;5(2):113-23. (In Russ.)
 6. Gilyarov AM. [Diversity index and ecological succession]. Zhurnal Obshchey Biologii. 1969;30(6):652-7. (In Russ.)
 7. Yefimov PG. Orkhidei Severo-Zapada Yevropeyskoy Rossii [Orchids of the North-West of European Russia]. Moscow: KMK; 2011. (In Russ.)
 8. Yefimov PG. Orkhidei Severo-Zapada Yevropeyskoy Rossii. [Orchids of the North-West of European Russia]. Moscow.: KMK; 2012. (In Russ.)
 9. Ivanova AV, Kostina NV, Aristova MA. [Genus spectrum in the analysis of flora of Samara-Ulyanovsk Volga Region]. Izvestiya Saratovskogo Universiteta Ser Khim Biol. Ekol. 2019;19(2):196-206. doi: 10.18500/1816-9775-2019-19-2-196-206. (In Russ.)
 10. Ivanova AV. [Features of the taxonomic structure of flora of the southeastern part of Soksky Physiographic Region]. In: Sistemicheskiye i Floristicheskiye Issledovaniya Severnoy Yevrazi: Materialy II Mezhdunarodnoy Konferentsii (k 90-Letiyu so Dnia Rozhdeniya Professora A.G. Yelenevskogo). Moscow; 2018. P. 226-9. (In Russ.)
 11. Ivanova AV, Vasyukov VM, Kostina NV, Gorbushina TV, Novikova LA, Lysenko TM. [Taxonomic features of floras of the forest-steppe zone of Middle Volga Region]. Ekosistemy. 2020;21(51):18-30. doi: 10.37279/2414-4738-2020-21-18-30. (In Russ.)
 12. Ivanova AV, Kostina NV, Aristova MA. [Dependence of taxonomic parameters of floras on sample sizes]. Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Ser Khim Biol Ekol. 2020;20(4):404-16. (In Russ.)
 13. Ivanova AV, Kostina NV, Lysenko TM. [A study of territorial heterogeneity using the "species-area" curve for defining its floristic structure (as exemplified with Soksky physical-geographical region)]. Samarskiy Nauchnyy Vestnik. 2018; 2(23):49-55. (In Russ.)
 14. Ivanova AV, Kostina NV, Lysenko TM. [The main features of the family spectrum of the adventive fraction of flora of Samara-Ulyanovsk Volga Region]. Samarskiy Nauchnyy Vestnik. 2018;7(4):35-40. (In Russ.)
 15. Ivanova AV, Kostina NV, Lysenko TM, Kozlovskaya OV. [Features of flora of Melekessko-Stavropol physicogeographic region]. Samarskiy Nauchnyy Vestnik. 2017;4(21):47-53. (In Russ.)
 16. Ivanova AV, Kostina NV, Rozenberg GS, Saksonov SV. [Family spectra of floras of Volga basin territory]. Botanicheskiy Zhurnal. 2016;101(9):1042-55. (In Russ.)
 17. Il'minskikh NG, Shadrin VA. [Some results of studying of specific floras of Udmurtia]. In: Regionalnye Floristicheskiye Issledovaniya. 1987. P. 93-104. (In Russ.)
 18. Kamelin RV. [Geography of plants]. SPb.: Izdatel'stvo VVM; 2018. (In Russ.)
 19. Lebedeva NV, Krivolutskiy DA. [Biological diversity and methods for its measurement]. In: Geografiya i Monitoring Raznoobraziya. Moscow: Izdatel'stvo Nauchnogo i Uchebno-Metodicheskogo Tsentra; 2002. P. 8-75. (In Russ.)
 20. Leostin AV. [Comparative analysis of flora of the north-west of Kostroma Region]. In: Sravnitel'naya Floristika: Analiz Vidovogo Raznoobraziya Rasteniy Problemy Perspektivy Sbornik Statey po Materialam X Mezhdunarodnoy Shkoly-Seminara po Sravnitel'noy Floristike. Krasnodar; 2014. P. 67-72. (In Russ.)
 21. Malyshev LI. [Biological diversity in the spatial perspective]. In: Biologicheskoe Raznoobrazie Podkhody k Izucheniyu i Sokhraneniyu Materialy Konferentsii BIN RAN i ZIN RAN. Saint-Petersburg; 1992. P. 41-52. (In Russ.)

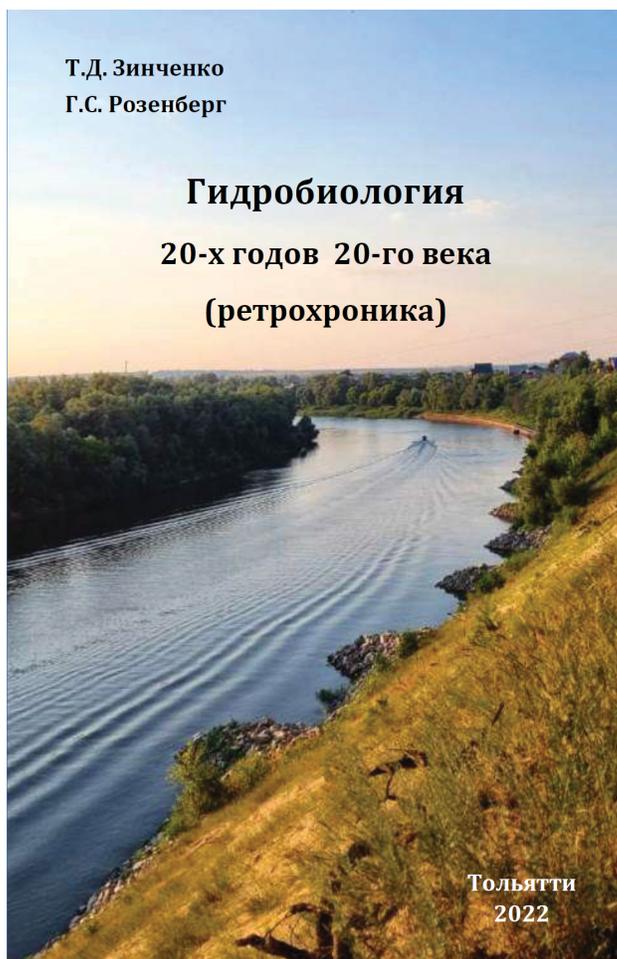
22. Matveyeva NV. [Flora and vegetation in the vicinity of Mariya Pronischeva Bay (North-Eastern Taimyr)]. In: *Arkticheskiye Tundry i Poliarnye Pustyni Taymyra*. Leningrad: Nauka; 1979. P. 78-109. (In Russ.)
23. Matveyeva NV, Zanolka LL. [Flora of vascular plants of the northwestern part of Taimyr Peninsula]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 1997; 82(12):1-20. (In Russ.)
24. Mirkin BM, Rozenberg GS, Naumova LG. [Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology]. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
25. Morozova OV. *Taksonomicheskoye Bogatstvo Vostochnoy Yevropy Faktory Prostranstvennoy Differentsiatsii*. [Taxonomic Richness of Eastern Europe Factors of Spatial Differentiation]. Moscow: Nauka; 2008. (In Russ.)
26. Neronov VV. [Local flora diversity in the southwest of Kalmykia chernozem and its ecological and geographical analysis]. In: *Sravnitel'naya Floristika Analiz Vidovogo Raznoobraziya Rasteniy Problemy Perspektivy Sbornik Statey po Materialam X Mezhdunarodnoy Shkoly-Seminara po Sravnitel'noy Floristike*. Krasnodar; 2014. P. 92-5. (In Russ.)
27. Nikolin EG. [Local flora of Nelkansky Pass (Tas-Kystabyt Ridge, Northeastern Yakutia)]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 2019;104(3):414-31. (In Russ.)
28. Petrovskiy VV, Sekretareva NA. [Local flora of Neizvestnaya River headwaters (Wrangel Island)]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 2008; 93(6):852-70. (In Russ.)
29. Pospelova YeB, Pospelov IN. *Flora Sosudistyykh Rasteniy Taymyra i Sopredelnykh Territoriy Chast 1*. [Vascular Plants Flora of Taimyr and Adjacent Territories. Part 1]. Moscow: KMK; 2007. (In Russ.)
30. Pospelova EV. [Vascular plants flora in Levinson-Lessing Lake region (Byranga Mountains, Central Taimyr)]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 1995;80(2):58-64. (In Russ.)
31. Rebristaya OV. *Flora Poluostrova Yamal Sovremennoye Sostoyaniye i Istoriya Formirovaniya*. [Yamal Peninsula Flora. Its current State and Formation History]. Saint-Petersburg: Izdatelstvo SPbGETU «LETI»; 2013. (In Russ.)
32. Rozenberg GS, Kavelenova LM, Kostina NV, Prokhorova NV, Rozenberg AG. [Biodiversity conservation strategies for territories of different scales: An international aspect]. *Biosfera*. 2021;13(1-2):1-8. (In Russ.)
33. Saksonov SV. *Samaroluksiy Floristicheskiy Fenomen*. [Samarskaya Luka Floristic Phenomenon]. Moscow: Nauka; 2006. (In Russ.)
34. Sergiyenko VG. *Konkretnye Flory Kanino-Meznskogo Regiona*. [Specific Floras of Kanino-Mezen Region]. Moscow: KMK; 2013. (In Russ.)
35. Sergiyenko VG. [Composition and structure of local floras in the eastern part of Vologda Region]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 2014;99(4):418-42. (In Russ.)
36. Seregin AP. *Flora Vladimirskey Oblasti Konspekt i Atlas*. [Flora of Vladimir Region: Synopsis and Atlas]. Tula: Grif i K; 2012. (In Russ.)
37. Seregin AP. *Novaya Flora Natsionalnogo Parka Meschera (Vladimirskaya Oblast) Konspekt Atlas Kharakternye Cherty Dinamika v Rasprostraneni vidov za Desiat Let (2002-2012)*. [New Flora of Meshchera National Park (Vladimir Region): Summary, Atlas, Characteristic Features, and Dynamics of Species Distribution Over Ten Years (2002-2012)]. Tula: ASTRA; 2013. (In Russ.)
38. Seregin AP. [Grid mapping of flora: world experience and current trends]. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta Ser Biol Ekol*. 2013;32:210-45. (In Russ.)
39. Seregin AP. [Flora of the state reserve "Troeruchitsa" (Tver Region)]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Yevropy*. 2020; 14(1):4-31. (In Russ.)
40. Seregin AP. *Flora Sosudistyykh Rasteniy Natsionalnogo parka Meschera (Vladimirskaya Oblast) Annotirovannyi Spisok i Karty Rasprostraneniya Vidov*. [Vascular Plants Flora of Meshchera National Park (Vladimir Region): Annotated List and Maps of Species Distribution]. Moscow: NIA-PRIRODA; 2004. (In Russ.)
41. Silayeva TB, Kiriukhin IV, Chugunov GG, Levin VK, Mayorov SR, Pismarkina EV, Ageyeva AM, Vargot YeV. *Sosudistye Rasteniya Respubliki Morviya (Konspekt Flory) Momografiya*. [Vascular Plants of the Republic of Mordovia (Compendium of Flora): Monograph]. Saransk: Izdatelstvo Mordovskogo Universiteta; 2010. (In Russ.)
42. Tabaka LV. [Some results of a comparative study of flora of various natural-territorial divisions of Latvia]. In: *Teoreticheskie i Metodicheskie Problemy Sravnitel'noy Floristiki: Materialy II Rabochego Soveshchaniya po Sravnitel'noy Floristike*. Leningrad: Nauka; 1987. p. 104-7. (In Russ.)
43. Tolmachev AI. *Vvedeniye v Geografiyu Rasteniy*. [Introduction to Plant Geography]. Leningrad: LGU; 1974. (In Russ.)
44. Tolmachev AI. [On the methodology of comparative floristic research. The concept of flora in comparative floristry]. *Zhurnal Russkogo Botanicheskogo Obshchestva*. 1931;16(1):111-24. (In Russ.)
45. Tolmachev AI. *Metody Sravnitel'noy Floristiki i Problemy Florogeneza*. [Methods of Comparative

- Floristics and Problems of Florogenesis]. Novosibirsk: Nauka; 1986. (In Russ.)
46. Uitteker R. Soobschestva i Ekosistemy. Moscow: Progress; 1980. (In Russ.)
 47. Stupishin AV, ed. Fiziko-Geograficheskoye Rayonirovaniye Srednego Povolzhya. [Physical-Geographical Zoning of Middle Volga Region]. Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo Universiteta; 1964. (In Russ.)
 48. Khiton OV, Rebristaya OV. [The local flora of Cape Matyuysale environs as the only part of Gydan Reserve studied by botanists in detail]. In: Ekologiya i Geografiya Rasteniy i Rastitelnykh Soobshchestv Materialy IV Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferentsii. Yekaterinburg; 2018. P. 997-1000. (In Russ.)
 49. Khokhriakov AP. [Taxonomic spectra and their role in comparative floristry]. Botanicheskiy Zhurnal. 2000;(5):1-11. (In Russ.)
 50. Chernov YuI. [Biological diversity: essence and problems]. Uspekhi Sovremennoy Biologii. 1991;111(4):499-507. (In Russ.)
 51. Shelyag-Sosonko YuR. [About specific flora and the method of specific floras]. Botanicheskiy Zhurnal. 1980;65(6):761-74. (In Russ.)
 52. Shmidt VM. Statisticheskiye Metody Sravnitel'noy Floristiki. [Statistical Methods of Comparative Floristry]. Leningrad: LGU; 1980. (In Russ.)
 53. Shmidt VM. [On the two directions of concrete flora method development]. Botanicheskiy Zhurnal. 1976;(12):1658-69. (In Russ.)
 54. Shmidt VM. Flora Arkhangel'skoy Oblasti. [Flora of Arkhangel'sk Region]. Saint Petersburg: Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo Universiteta; 2005. (In Russ.)
 55. Shmidt VM, Spasskaya NA, Valma VP. [Specific floras of the village Lyubytino and the city of Kholm, Novgorod Region]. Vestnik Leningradskogo universiteta. 1973;(3):41-52. (In Russ.)
 56. Yurtsev BA. [Biodiversity monitoring at the level of local floras]. Botanicheskiy zhurnal. 1997; 82(6): 60-9. (In Russ.)
 57. Yurtsev BA. [Some trends in the development of specific floras method]. Botanicheskiy Zhurnal. 1975;(1):69-83. (In Russ.)
 58. Yurtsev BA. [Flora as a natural system]. Vestnik MOIP Otdeleniye Biologicheskoye. 1982;87(4):3-22. (In Russ.)
 59. Yurtsev BA, Kamelin RV. Osnovnyye Poniatiya i Terminy Floristiki [Basic concepts and terms of floristry]. Perm: Permskiy Universitet; 1991. (In Russ.)
 60. Anonymous. Nieuwe Atlas van de Nederlandse Flora. Nijmegen; 2011.
 61. Barthlott W, Hostert A, Kier G, Koper W, Kreft H, Mutke J, Rafiqpoor MD, Sommer JH. Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. Erdkunde. 2007;51(4):305-15. doi:10.3112/erdkunde.2007.04.01.
 62. De Candolle A. Geographic Botanique Raisonnee ou Exposition des Faits Principaux et des Lois Concernant la Distribution des Plantes de l'Epoque Actuelle. Paris: V. Masson et Geneve; 1855. p. 607-1365.
 63. Gafurova MM, Ivanova AV, Istomina EYu. Floristry and plant biogeography of the eastern part of the Volga upland. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 818. Bristol; 2021. p. 12014.
 64. Haeupler HE, Schonfelder P, eds. Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart; 1988.
 65. Ivanova AV, Kostina NV. Area size of flora identification for species diversity assessment. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 818. Bristol; 2021. p. 12016.
 66. Meijden R, Weeda EJ, Plate CL. Atlas van de Nederlandse Flora. Deel 3. Minder Zeldzame en Algemene Soorten. Leiden, Voorburg; 1989.
 67. Mennema J, Quene-Boterenbrood, AJ, Plate CL, eds. Atlas van de Nederlandse Flora. Deel 1: Uitgestorven en Zeer Zeldzame Planten. Amsterdam; 1980.
 68. Mennema J, Quene-Boterenbrood, AJ, Plate CL, eds. Atlas van de Nederlandse Flora. Deel 2: Zeldzame en Vrij Zeldzame Planten. Utrecht; 1985.
 69. Perring F, Walters SM. Atlas of the British Flora. London, Edinburgh; 1962.
 70. Preston FW. The Canonical distribution of commonness and rarity. Ecology. 1962;(3):410-32.
 71. Suominen J, edr. Atlas Flora Europaea: Distribution of Vascular Plants in Europe. Vol. 1: Pteridiophyta (Psilotaceae to Azollaceae). Helsinki; 1972.
 72. Van Rompaey E, Delvosalle L. Atlas de Flore Belge et Luxembourgeoise: Pteridophytes et Spermatophytes. Meise: Jardin Botanique National de Belgique; 1972.
 73. Whittaker RH. Evolutionary Biology. Plenum Publ. Corp. 1977.10:1.

ДИСКУССИЯ ПО КНИГЕ:

Т.Д. Зинченко
Г.С. Розенберг

Гидробиология
20-х годов 20-го века
(ретрохроника)



Тольятти
2022

ОТ АВТОРОВ:

УДК 574.5

CC BY-NC 4.0

© Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг; ФНИ «XXI век»

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг*

Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал
Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти (Россия)

* Эл. почта: genarozenberg@yandex.ru

В предлагаемом в качестве основы для научной дискуссии адаптированном варианте одной из глав монографии Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)» рассмотрены некоторые направления развития современной гидробиологии, обсуждены проблемы общей (системной, продукционной, этологической гидробиологии, палеогидробиологии) и частной гидробиологии (санитарной, медицинской, токсикологической, радиологической, сельскохозяйственной, рыбохозяйственной, технической, космической), гидробиологического образования. Отмечена необходимость продолжения процесса ее «экологизации», совершенствования научных основ комплексной эксплуатации водных объектов.

Ключевые слова: проблемы общей (системной, продукционной, этологической) и частной гидробиологии (санитарная, медицинская, токсикологическая, радиологическая, сельскохозяйственная, рыбохозяйственная, техническая, космическая).

MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF HYDROBIOLOGY

Tatyana D. Zinchenko, Gennady S. Rozenberg*

Institute of Ecology of Volga River Basin, Togliatti (Russia)

* E-mail: genarozenberg@yandex.ru

To provide a basis for scientific discussion, the authors of the monography entitled "Hydrobiology in the 20ies of the 20th Century (a Retrochronicle)" present an adapted version of one of its chapters where selected directions in the development of modern hydrobiology are considered, problems in the general (systemic, productive, ethological, and paleological) and special (sanitary, medical, toxicological, radiological, agricultural, fishery, technical, and cosmic) hydrobiology are outlined, and issues of the hydrobiological education are highlighted. The expediency of an «ecologization» of hydrobiology, which will help to develop scientific foundations for the integrated operation of water bodies, is stressed.

Key words: problems of general (systems, production, ethological) and particular hydrobiology (sanitary, medical, toxicological, radiological, agricultural, fishery, technical, space).

Становление гидробиологии всегда было связано с необходимостью создать научные основы комплексной эксплуатации водных объектов. История гидробиологии (см., например, [Винберг, 1975]¹) убеждает, что именно этот путь исследований обеспечивает наиболее плодотворные теоретические и практические достижения. Поэтому совершенно оправданным представляется активное участие гидробиологов в работе гидрологических съездов (особенно в 20-х годах XX века). И здесь ключевыми становятся слова почетного академика Н.М. Книповича [1938, с. 11]: «Как не может быть настоящей гидробиологии без гидрологии, так не может быть вполне научной гидрологии без достаточного учета данных биологии вод».

Весь спектр гидробиологических исследований (по аналогии с большинством других наук) распадается на два блока, один из которых включает *общие направления*, второй – *частные и прикладные вопросы* [Винберг, 1977]. Оба блока находятся в тесном взаимодействии, причем первый разрабатывает теоретические основы, необходимые как для собственного развития, так и для эффективной деятельности второго. В то же время частные (для разного рода водных объектов) и прикладные исследования не только обеспечивают решение разнообразных задач практики, но и стимулируют разработку новых общих (теоретических) проблем. Как отмечается в разделе «История» на сайте Гидробиологического общества (<http://gboran.ru/istoriya/>), на отдельных этапах развития гидробиологии лидирующее положение занимали либо общие, либо прикладные исследования, что было связано с повышением или ослаблением внимания как к гидробиологии в целом, так и к отдельным ее направлениям.

Обобщая как классические работы по общей гидробиологии [Зернов, 1949; Зенкевич, 1951; Яшнов, 1969; Константинов, 1979; Кожова, 1987], так и современные [Алимов, 2000; Заика, 2003; Зданович, Криксунов, 2004; Романенко, 2004; Семерной, 2008; Зилов,

¹ Все работы, процитированные в этой статье по авторам, можно найти в списке литературы нашей монографии [4].

2009; Протасов, 2010а,б; Алимов и др., 2013; Калайда, Хамитова, 2013; Камнев, 2015, 2016а,б, 2017 и многие другие], сформулируем основные проблемы (направления развития) гидробиологии.

Проблемы общей гидробиологии:

- *системная гидробиология* (изучает общие проблемы организации, структуры и динамики гидроэкосистем);

- *продукционная гидробиология* – основа современной гидробиологии [Алимов, 1989, с. 3]; изучает процессы образования продукции органических веществ в водоемах; продукционно-биологические исследования получили прочную основу с распространением методов определения первичной продукции, то есть скорости новообразования органических веществ фитопланктоном, по измерениям интенсивности фотосинтеза, что впервые было сделано Г.Г. Винбергом в 1932 году на оз. Белом; имеет существенное прикладное значение – повышение вылова рыбы, урожая морепродуктов и т. п.;

- *трофологическая гидробиология* – является основой изучения биологической продуктивности водоемов и функционирования гидроэкосистем (изучает пищевые связи, биологическую трансформацию веществ и пр.);

- *энергетическая гидробиология* (изучает потоки энергии и их биологическую трансформацию);

- *этологическая гидробиология* (поведение гидробионтов);

- *палеогидробиология* (исторические [в геологическом масштабе] изменения водных экосистем).

Проблемы частной гидробиологии

Частная гидробиология изучает специфику экологии водных объектов разного типа. Выделяют гидробиологии морей, озер, прудов, болот, временных и пересыхающих водоемов, луж, рек различных типов, ручьев, родников и др.; кроме того, существует гидробиология подземных и пещерных вод, полярных, умеренного пояса, тропических и субтропических водных объектов и пр.

Проблемы прикладной гидробиологии:

- *санитарная гидробиология*, занимающаяся решением проблем чистой воды, биологического самоочищения водоемов; изучает воздействие разных форм загрязнения водоемов на их биоту, разрабатывает методы биологической индикации загрязнения водоемов и оценки его последствий;
 - качество воды;
 - проблема сапробности водоемов;
 - антропогенное эвтрофирование: причины и контроль;
 - загрязнение бытовыми сточными водами;
 - проблема повышения кислотности вод;
 - термофикация;
 - биологическая детоксикация;
 - загрязнение морских вод;
- *медицинская гидробиология* (исследует происхождение и распространение болезней, связанных с водой, в первую очередь – инфекционных); ее подразделом является *гидропаразитология* (разрабатывает методы борьбы с паразитическими животными, обитающими в водоемах, в том числе личиночными стадиями паразитов);
- *токсикологическая гидробиология* или *водная токсикология* (изучает возможность нанесения вреда водным объектам продуктами техногенеза, влияние токсикантов на гидробионты и экосистемные процессы):
 - загрязнение водной среды углеводородами;
 - нефтепродукты;
 - полициклические ароматические соединения;
 - консервативные токсиканты в водных экосистемах;
 - загрязнение вод металлами;
 - синтетические органические вещества;
 - синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ);
- *радиологическая гидробиология* (изучает проблемы, связанные с поступлением в водоемы радионуклидов, влиянием их на гидробионты, накоплением их в трофических цепях);
- *сельскохозяйственная гидробиология* (изучает закономерности формирования водного населения на временно затопленных участках возделывания полуводных культур (например, риса, лотоса и др.), выявляет и оптимизирует пути управления этими процессами в интересах повышения урожайности полей и устойчивости таких водных экосистем);
- *рыбохозяйственная гидробиология* – изучает условия воспроизводства океанических и пресноводных рыб и других водных организмов, разрабатывает подходы к рациональному использованию их запасов, методы прогнозирования и управления их запасами, методы их искусственного разведения в аквакультуре;
- *техническая гидробиология*, изучающая биологиче-

ские явления, представляющие опасность для техники, контактирующей с водой:

- биокоррозия;
- обрастание подводных сооружений;
- зарастание водоемов;
- навигационная гидробиология (исследует водные биологические процессы, препятствующие судоходству);
- *космическая гидробиология* – изучает продукционные процессы в замкнутых экосистемах, исследует жизнь гидробионтов в условиях невесомости, возможность обеспечения космонавтов кислородом и пищей за счет культивирования автотрофов в биологических реакторах, является важной составной частью мониторинга гидроэкосистем.

Наверняка этот список можно продолжить (как это принято в экологии) – *химическая гидробиология (биогеохимия)*, *эволюционная гидробиология (экоэволюция)*, *глобальная гидробиология* и др.; можно «разделить» гидробиологию по объектам изучения – *планктонология*, *бентология* и др.

Такое деление свидетельствует о том, что гидробиология постепенно решает чисто экологические проблемы, все более концентрируя свое внимание на исследовании функциональных особенностей и структуры надорганизменных систем в интересах решения проблем биологического продуцирования и охраны гидросферы. «Уже в начале своего становления гидробиология сразу стала не только и даже не столько описывать отдельных обитателей водной среды, но разделила их на группы по занимаемым местообитаниям: планктон, бентос и т. д. <...> Фактически, гидробиология оказалась первой из комплекса экологических наук, которая родилась как количественная наука. Не случайно большую популярность в то время (*конец XIX – начало XX века. – Т.З., Г.Р.*) получили идеи о необходимости комплексных исследований всей биоты водоемов, которые велись в лучших традициях описательной биологии. В то же время развитие таких исследований привело к накоплению огромной массы трудно интерпретируемых сведений о численности и биомассе населяющих водоемы организмов» [Алимов и др., 2013, с. 6]. Может быть, именно с этим и связан факт некоторого «забвения» материалов этих Съездов. Сегодня, к сожалению, уменьшение биологического разнообразия и биологических ресурсов гидроэкосистем становится обычным атрибутом современной гидробиологии – во многих регионах эвтрофирование, ацидофикация, вселение чужеродных видов организмов, загрязнение и засоление водоемов входят в число основных экологических проблем. В этой связи привлекательность («аттрактивность») гидробиологических исследований во все времена заключалась, по нашему мнению, в осуществлении настоящей необходимости де-

тального и постоянного изучения механизмов влияния различных антропогенных факторов («биологический мониторинг») на динамику биоразнообразия и биоресурсов экосистем различных водоемов и водотоков в условиях динамичности внешних воздействий.

Попробуем, имея «точку отсчета» (ретрохроника гидрологических съездов 20-х годов XX столетия) и предложенную выше схему основных направлений развития гидробиологии, оценить состояние и спрогнозировать пути совершенствования отечественной гидробиологии (в полном соответствии с М.И. Гладышевым [2020], наметить «траекторию гидробиологии»).

Системная гидробиология. Любая наука в процессе познания окружающего мира и своем развитии проходит, как минимум, три основных этапа. *Первый* – это этап накопления эмпирического знания (описательный, инвентаризационный), *второй* – концептуально-теоретический (формирование списка понятий науки, выдвижение гипотез о структуре и механизмах функционирования описываемых систем), наконец, *третий* – формализация этих представлений на языке математики как раз в рамках системного подхода [Алимов, 2000]. Гидробиология не является исключением из этого общего правила: гидробиолог желает знать, какие гидробиоценозы его окружают, как они устроены и функционируют, как их можно классифицировать, как оценить их границы, как можно описать, оптимизировать и управлять их продуктивностью, на каких принципах создавать искусственные водные экосистемы и пр. Наверное, с определенной долей уверенности можно говорить о том, что первый этап становления гидробиологии завершен (точнее, продвинул дальше всех), второй находится в стадии активной разработки, а вот третий – еще в начале своего пути.

Организационная модель науки в России была оформлена в период до 30-х годов прошлого столетия и ориентирована на потребности индустриализации. В этот период были сформированы ведомственные сети научных организаций (наркоматов земледелия, здравоохранения и т. д.); основными типами научных учреждений стали центральные НИИ, отраслевые институты при вузах, низовые учреждения (заводские лаборатории, опытные станции), региональные институты. Тогда же были созданы две практически изолированные друг от друга системы научных организаций – военная и гражданская. В системе гражданской науки были сформированы академический, вузовский, отраслевой и заводской сектора науки.

Большое число докладов, озвученных на рассмотренных на Первом и Втором гидрологических съездах [Зинченко, Розенберг, 2022], носили системный (теоретический и методический) характер (Г.Ю. Верещагин, Д.А. Ласточкин, В.С. Михин, Б.В. Перфи-

льев, П.Д. Резвой и др.). Обсуждались возможности использования в гидробиологии фитоценологических представлений («фитосоциологии»), понятия «биоценоз», оригинальные количественные методы учета (в частности, донной фауны), адаптационные возможности, сезонная и многолетняя динамика некоторых популяций гидробионтов и пр.; достаточно тонкое популяционно-генетическое исследование изменчивости улитки *Limnaea stagnalis* L., выполнил 24-летний Ф.Г. Добржанский.

Академический сектор науки (организации АН СССР и отраслевых академий, в дальнейшем – РАН (до 2013 года; после «передачи» академических институтов в систему ФАНО и далее в Минобрнауки об академическом секторе науки, по-видимому, следует забыть...) способствовал развитию комплексных (системных), теоретических знаний, в том числе и в гидробиологии [Винберг, 1960; Алимов, 1990, 2000; Шитиков и др., 2005; Протасов, 2011; Алимов и др., 2013; Богатов, Федоровский, 2017]. Можно назвать такие современные концепции, как развитие представлений о *речном континууме* (начало было положено статьей [Vannote et al., 1980]; см. также [Богатов, 2013]), создание специфической *концепции экологической ниши*, согласно которой популяция каждого вида занимает свое определенное место в гидроэкосистеме [Brave et al., 2011; Peterson et al., 2011; Шитиков и др., 2021], разработка точных представлений о водных экосистемах как о структурах, формирующих поток вещества и энергии как в гидросфере, так и в биосфере в целом [Камнев, 2016а, с. 29], *инвазии гидробионтов* [Экологическая безопасность, 2002; Capdevila-Ar-güelles, Zilletti, 2005; Дгебуадзе, 2011 и некоторые др.].

Продукционная гидробиология. Вернемся анализу докладов первых съездов гидрологов и гидробиологов, с которого мы начали книгу. Сближение именно этих наук позволяет при изучении континентальных водоемов исследовать значение гидрологического фактора при анализе гидроэкосистем, обогащаясь полученными данными и решая самостоятельно задачи биологического и географического профилей. Напомним, что основная задача гидробиологии состоит в изучении экологических процессов в гидросфере с целью нахождения путей *управления водными экосистемами*, при которых польза от проведенных исследований и принятия решений по их эксплуатации соответствовала бы *рациональному природопользованию*. В этой связи надо понимать, что из конкретных практических задач можно выделить те, которые связаны с повышением биологической продуктивности водоемов, получением из них определенного количества необходимого биологического сырья, с поиском перспективных путей увеличения сырьевой базы промысла водных организмов. При этом совершенствуются методы прогнозирования продуктивности

водоемов и ее повышения за счет направленного изменения условий существования гидробионтов, рационального промысла, создания оптимальных основ ведения аквакультуры.

Уже в 20-х годах прошлого столетия проблемы продукционной гидробиологии занимали одно из ведущих мест. В дальнейшем, при существенном расширении хозяйственной деятельности человека эти исследования стали более комплексными и теоретически более обоснованными. Для повышения биологической продуктивности Каспия Л.А. Зенкевич предложил реконструировать фауну Каспийского моря путем акклиматизации в нем некоторых ценных кормовых беспозвоночных из Азовского моря. В 1936—1938 годах на Черном и Азовском морях проводилось эколого-физиологическое изучение фауны беспозвоночных в целях выбора организмов, наиболее подходящих для акклиматизации. В результате этих исследований для перевозки из Азовского моря в Каспийское были намечены три вида беспозвоночных: два вида многочетинкового червя nereis (*Nereis succinea* и *Nereis diversicolor*) и моллюск синдесмия (*Syndesmia ovata*). Проект был осуществлен в 1939—1941 годах, nereis быстро размножился в Каспийском море и стал любимым кормом осетровых. Первые итоги работы по реконструкции фауны Каспийского моря были опубликованы в работе [Зенкевич и др., 1945]. О культивировании морских гидробионтов см., например, [Душкина, 2008], механизмы управления аквакультурами – [Силкин, Хайлов, 1988].

Трофологическая гидробиология. Термин «трофология» был предложен С.А. Зерновым в 1934 году (см. [Смирнов, 1973, с. 64]). Это направление служит основой для продукционной гидробиологии [Ивлев, 1948, 1955, 1966]. Отметим, что Н.С. Гаевская, которая выступала и на Первом, и на Втором съездах, трофологической гидробиологией занялась, по ее собственному свидетельству, только в 1934 году (см. [Валькова, 2013, с. 98]). В частности, она использовала основные трофические параметры [Гаевская, 1939, 1948] – *кормовой коэффициент, суточный пищевой рацион и индекс избирательной способности* [Чучукало, 2002, с. 562].

Обратим внимание на современные методы исследования питания гидробионтов. Для получения адекватных знаний о механизмах функционирования водных экосистем в современных гидроэкологических исследованиях применение системного подхода, то есть рассмотрения функционирования целостной надорганизменной системы [Гладышев, 1999; Гладышев и др. 1999], является необходимой составляющей с изучением трофометаболических взаимодействий между популяциями водных животных. Применение современных методик исследования питания водных животных устраняют определенные недостатки применяемых ранее методов [Ивлев, 1955; Извекова, 1980,

и др.]. В настоящее время активно развиваются методы, основанные на *применении биохимических маркеров* [Кормилец-Махутова, 2007].

Энергетическая гидробиология. Энергетическое направление изучает энергетический поток в водоемах; биологическую трансформацию энергии (поток энергии «связывает» абиотические и биотические составляющие гидроэкосистем). Функциональные свойства популяций наиболее полно характеризуются особенностями обмена веществом и энергией с окружающей средой. Для осмысления этих явлений как основы продукционного процесса надо знать количество пищи, потребляемое популяцией, интенсивность накопления в ней органических и других веществ, эффективность использования пищи на рост, энергобаланс системы и пр. Во второй половине прошлого столетия после работ В.С. Ивлева [1955] и Г.Г. Винберга [1956, 1979] в гидробиологии получили широкое распространение балансовые методы изучения энергетического обмена гидробионтов. Гидробиологам хорошо известно, что каждая популяция существует, потребляя, накапливая и рассеивая энергию в соответствии с законами термодинамики. Энергобаланс популяции отражает важные функции: величину энергопотока и продукцию новых веществ.

Этологическая гидробиология. При анализе поведения гидробионтов различают, как минимум, два подхода: естественное поведение и поведение гидробионтов при воздействии раздражителей [Сабуренков, 1977; Павлов, 1979; Павлов и др., 2000, 2007; Коротков, 2013]. Интерес к этой проблематике проявился, в большей степени, во второй половине XX века (назовем здесь лишь интересную работу К.Э. Фабри [1988] об ихтиопсихологии).

Палеогидробиология. Фактически это рассмотренные гидробиологические процессов в геологических масштабах времени. Еще полтора века тому назад геолог А.Л. Чекановский [<https://wysotsky.com/0009/086.htm>] подчеркивал, что Байкал представляет «редкий пока еще случай, где зоолог и геолог сходятся вместе для решения одного и того же вопроса и для немедленной взаимной проверки своих выводов». И еще [Чекановский, 1874, с. 30]: «Само собою разумеется, что особенности фауны Байкальской останавливали внимание Палласа (*ссылка на работу П.С. Палласа 1776 года. – Т.3., Г.Р.*). Замечательно, что уже у него находим сознание необходимости поставить эти особенности в зависимость от геологических переворотов, потрясавших край». Дискуссия Л.С. Берга [1910, 1925] и Г.Ю. Верещагина [1930а,б] о происхождении фауны оз. Байкал во многом основана на привлечении палеонтологических данных. Так, один из аргументов состоял в том, что с «давних времен, с силура, а может быть с кембрия» (Берг, 1925, с. 169) территория Байкала не покрывалась морем. При выяснении про-

исхождения и истории фауны и флоры Байкала Верещагин применял несколько методов, например, «метод биогеографического анализа, состоящий в том, что все местонахождения организмов, тождественных или родственных тем, которые обитают или обитали в Байкале, оцениваются с точки зрения их генетических и экологических особенностей» ([Верещагин, 1940]; цит. по: [Фортунатов, 1963]). Современное состояние проблемы см. обзоры [Галазий, 1993; Конов, 2011; Тахтеев, 2011].

Рассматривая палеогидробиологию (палеоэкологию) как раздел палеонтологических исследований условий обитания гидробионтов геологического прошлого, обратим внимание на проведение комплексных палеоэкологических и литологических исследований с использованием анализа донных организмов для изучения процесса развития экологических и климатических условий. Палеоэкологические исследования с использованием сохраняющихся в донных отложениях озер остатков живых организмов являются показателем климатических изменений последних 10–11 тыс. лет [Brooks, 2000, 2003]. В качестве индикаторных групп на протяжении длительного времени используются диатомовые водоросли, пыльца растений, остатки растений и животных. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Диатомовые являются индикаторами изменения pH среды, но, например, не выявляют температурные тренды. Использование хорошо сохраняющихся в донных отложениях остатков головных капсул хирономид для целей палеоклиматологии становится все более популярным (например, в голоценовых пробах встречается 50 и более таксонов многочисленных головных капсул хирономид).

Частная гидробиология. Развитие частной гидробиологии как раз не вызывает волнений: сложность гидроэкосистем и системологический принцип множественности моделей [Розенберг и др., 1999] свидетельствуют о том, что *каждый водный* объект подлежит изучению. Общими могут быть принципы такого изучения (например, мониторинговые исследования по единой программе), но каждая гидроэкосистема неповторима и требует индивидуального подхода в рамках комплексного изучения. Некоторые проблемы частной экологии и пути их решения обозначены в Водном кодексе Российской Федерации (утвержден 3 июня 2006 года) и других законодательных актах о воде с позиции ресурсной значимости и государственного регулирования их использования и охраны. Среди них:

- повышение биологической продуктивности водоемов для получения из них наибольшего количества биологического сырья (эту же задачу первой называет и А.С. Константинов [1979]);
- разработка биологических основ обеспечения людей чистой водой, в том числе оптимизация функци-

онирования экосистем, создаваемых для промышленной очистки питьевых и сточных вод (вторая задача гидробиологии по А.С. Константинову);

- защита биотических ресурсов от загрязнения как одна из важнейших мер охраны естественного воспроизводства кормовых объектов (третья задача [Константинов, 1979]);
- экспертная оценка экологических последствий регулирования, влияния энергокомплексов на водные экосистемы;
- перераспределения стока рек, антропогенных воздействий разного типа и направленности;
- влияние промышленных предприятий и городских конгломератов на состояние малых рек;
- оценка качества воды и состояния водных экосистем гидрофизическими, химическими и биологическими (биотестирование, биоиндикация) методами;
- экологическая экспертиза различных веществ и препаратов, поступающих в водоемы, выбор наиболее безопасных в экологическом плане веществ (контроль токсичности поступающих в водоем сточных вод до и после очистки, оценка эффективности работы очистных сооружений, объективная оценка ПДК и пр.);
- биологическая характеристика качества природных вод на основе реакций тест-объектов, выявление районов и источников загрязнения токсическими или другими веществами, биологическое обоснование ПДК, НДС сточных вод;
- организация постоянных наблюдений (экологический мониторинг) за состоянием водных экосистем (водно-болотных угодий, нерестилищ и др.);
- оценка биологических ресурсов гидросферы с учетом технических возможностей освоения биологического сырья и др.

Санитарная гидробиология. «Возникновение санитарной гидробиологии связано прежде всего с оценкой качества питьевой воды при централизованном водопотреблении и развитием водопроводных сетей. Водоемы были и сейчас остаются приемниками неочищенных или частично очищенных сточных вод. Рост городов, развитие социально-культурной сферы и промышленности стали лимитироваться недостатком чистой воды» [Алексеев, Поздеев, 2016, с. 12]. Сегодня в связи с катастрофическим обострением процессов, связанных с загрязнением (эвтрофикация, ацидофикация, «биологическое загрязнение», зарастаемость водоемов, осушение и др.) и изменениями климата важность задачи обеспечения людей чистой водой непрерывно возрастает, а природные запасы истощаются, особенно в результате загрязнения водоемов. И если первоначально санитарной гидробиологии отводили проблематику химического загрязнения вод [Жадин, 1967], то уже на состоявшемся в 1973 году II Всесоюзном совещании по санитарной гидробиологии Г.Г. Винберг определил санитарную гидроби-

ологию как часть гидробиологии, которая развивает представления и методы, связанные с биологическими процессами формирования чистой воды и возобновлением ее запасов [Биологическое самоочищение, 1975]. А еще раньше он же писал: «Санитарная гидробиология включается в решение определенных разделов одной из наиболее широких и важных проблем современного естествознания, посвященных выяснению закономерностей биотического круговорота вещества и энергии в биосфере» [Винберг, 1964, с. 117]. Таким образом, санитарную гидробиологию можно рассматривать как одно из прикладных направлений гидробиологии, призванное разрабатывать и решать вопросы, связанные с проблемой «чистой воды».

Разработанная система санитарно-гидробиологических исследований позволяет оценить степень загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям, определить процессы, протекающие в водоемах в результате загрязнений, от первой реакции экосистемы на воздействие загрязнений до определенного уровня самоочищения воды. Главное внимание при этом уделяется обеспечению населения здоровой питьевой водой – от разработки параметров качества воды до контроля и прогноза качества воды водоемов питьевого назначения [Алексеев, Поздеев, 2016].

Медицинская гидробиология (чаще – *медицинская экология*) исследует происхождение и распространение болезней, связанных с водой (в первую очередь – инфекционных). Через воду передаются такие болезни, как диарея, холера (вызывается бактериями *Vibrio cholerae*), брюшной тиф (бактериями *Salmonella typhi*), амебиаз (паразитом *Entamoeba histolytica*) и др. [Стожаров, 2007; Макшанова, 2011; и др.].

Сразу отметим, что сам термин «медицинская гидробиология» практически не используется ни в отечественной литературе (он «кочует» лишь по некоторым учебным пособиям без примеров и комментариев; назовем учебное пособие [Зилов, 2009]), ни в зарубежной (на просторах Интернета нашлась лишь одна достаточно «старая» публикация, в заглавии которой встретился этот термин [de Oliveira et al., 1967]). Нам представляется, что этот раздел очень важной науки все-таки принадлежит медицине (в контексте данной работы можно говорить о *гидробиологической медицине*, хотя чаще используют «болезни, передаваемые через воду, – waterborne diseases» [Malik et al., 2012]). Такой подход освобождает нас от необходимости давать советы медикам, как им развивать «свою науку».

Токсикологическая гидробиология или **водная токсикология**. Воздействие антропогенного загрязнения на жизнь и окружающую среду – постоянная проблема, «громкое звучание» которой связано с именем морского биолога и защитника природы Р. Карсон и ее ставшей классической монографией «Безмолв-

ная весна» [Carson, 1962]. Две главы этой книги непосредственно посвящены проблемам гидробиологической токсикологии: 4. «Surface Waters and Underground Seas» (с. 39–52) и 9. «Rivers of Death» (с. 129–153). Карсон предприняла попытку отделить медицинские аспекты исследования токсинов от общеэкологических, которые напрямую связаны с антропогенным воздействием на водные объекты.

Водная токсикология – активно развивающаяся область гидроэкологии – изучает токсическое действие отдельных веществ и факторов на гидробионты, их популяции, биоценозы и гидроэкосистемы, биологические основы водоснабжения и очистки сточных вод, меры борьбы с цветением и зарастанием водоемов. Как самостоятельная наука водная токсикология начала формироваться в середине XIX века на базе *санитарной гидробиологии*. Максимально интенсивное ее развитие приходится на середину и вторую половину XX века. Основателем водной токсикологии по праву считают Н.С. Строганова [Строганов, Пожитков, 1941; Строганов, 1960, 1970; Методика биологических..., 1971]. Им впервые были четко сформулированы задачи этой науки, введен сам термин «водная токсикология», определены критерии токсичности загрязняющих водоемы веществ. В дальнейшем, значительный вклад в развитие науки (как на местном, так и на крупномасштабном уровне) внесли и другие отечественные гидробиологи (В.И. Лукьяненко, Е.А. Веселов, Л.П. Брагинский, О.Ф. Филенко, Б.А. Флеров, В.Д. Романенко, Т.И. Моисеенко, С.А. Остроумов, Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров и мн. др.).

Не будем останавливаться на всех задачах токсикологической гидробиологии (подробнее см. например [Филенко, Михеева, 2007]). Проблемы нормирования антропогенного воздействия на качество воды также были предметом обсуждения на Объединенном Пленуме Научного совета Отделения биологических наук РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии (Москва, 30 марта 2011 года). Как правило, при обсуждении последних проблем в качестве базовых рассматривают две концепции: существующую *санитарно-гигиеническую* (или *концепцию ПДК*) и альтернативную ей *концепцию экологического нормирования*.

Концепция регионального экологического нормирования основывается на следующих положениях:

- антропогенное воздействие не должно приводить к нарушению экологического состояния водных объектов и ухудшению качества вод;
- в каждом отдельно взятом бассейне или его части (водохозяйственный участок) формируется особый состав воды, свойственный данной водосборной территории и зависящий от природно-климатических условий;

- разработка и внедрение региональных допустимых концентраций направлено на сохранение и восстановление благоприятной среды обитания гидробионтов и нормальное функционирование экосистем;

- расчет региональных допустимых концентраций осуществляется на основе систематических данных наблюдений в различные экологические сезоны.

С учетом сказанного предлагается в качестве критерия нормирования сброса сточных вод (бассейновые допустимые концентрации – БДК) использовать региональные нормативы качества вод (РНКВ), получаемые на основе мониторинга водных объектов. Концепция расчета РНКВ основывается на принципе недопустимости изменения качества вод на величину, превышающую естественные колебания концентраций воздействующих факторов. Разработка и внедрение БДК позволит исправить ситуацию, когда ПДК, с одной стороны, необоснованно завышены (например, нитраты и фосфаты для водохранилищ Средней и Нижней Волги), а с другой – занижены (медь и цинк) и не могут быть соблюдены в силу естественных причин, обусловленных природными особенностями водных объектов.

Несмотря на глобальную привлекательность *концепции критических нагрузок*, количественная оценка их величин до сих пор связана с целым рядом неопределенностей [Розенберг и др., 2011]. Прежде всего, это относится к самим основополагающим понятиям: например, до сих пор не вполне ясно, где обнаружить «специфические чувствительные элементы», что считать за «необратимые вредные изменения» и, наконец, что есть «экологическая норма». В частности, неверно подчеркивать «максимальность» критической нагрузки, поскольку многие категории действующих факторов (например, тепловое воздействие) имеют и минимальный порог критичности. И таких проблем для фундаментальных исследований – множество.

Как бы мы ни снижали уровень отрицательного воздействия на водные массы, инструментальными методами *невозможно* контролировать присутствие *всех* загрязнителей. Это занятие очень трудоемкое и финансово крайне затратное. Нужен постоянный контроль за качеством водной среды. Кроме того, для оценки «благоприятности среды» важна не концентрация определенного соединения, а *знание об опасности его воздействия*, что требует проведения специальных токсикологических исследований. В этом и кроется главное ограничение такого подхода: оценка токсичности каждого из известных и экспоненциально растущего числа все новых соединений представляется невозможной [Шитиков и др., 2005]. Очень сложно (а, зачастую, и нереально) и моделирование опасности совместного воздействия различных соединений, сочетания которых индивидуальны в каждом конкретном случае. Следует помнить и о *невозможности сравнения* по степени опасности за-

грязнения тяжелыми металлами, пестицидами, радиацией и пр. Необходимо учитывать и *пространственную неоднородность* логических систем (сукцессии в реках [Богатов, 2013; Зинченко, Шитиков, 2015; Богатов, Федоровский, 2017]).

Нам представляется, что выход из этой почти тупиковой ситуации следует искать в биоиндикационных исследованиях – кумулятивный эффект комплексного воздействия загрязнения на гидроэкосистемы (например, хроническое загрязнение водного объекта) можно отследить только с использованием либо видов-, либо сообществ-биоиндикаторов [Зинченко, 2004, 2005; Биоиндикация экологического..., 2007; Бухарин и др., 2010].

Наиболее мощные воздействия на водные системы отмечаются в местах сочетания промышленного, сельскохозяйственного и рекреационного использования водных объектов. Характер этих нарушений зависит не только от масштаба хозяйственных воздействий, но и от способности гидроэкосистем восстанавливать свое прежнее равновесие, что, в свою очередь, ставит задачу *постоянного гидробиологического контроля* этих объектов. При этом в качестве элементов природопользования необходимо рассматривать все виды хозяйственной деятельности, что предполагает проведение инвентаризации и паспортизации водных объектов [Зинченко и др., 2003; Гелашвили и др., 2007, 2010].

Таким образом, есть основания считать, что такое нормирование позволит снизить биогенную нагрузку и уменьшить негативные последствия, связанные с «цветением» воды и ухудшением ее качества.

Радиологическая гидробиология (можно рассматривать ее и как часть водной токсикологии) занимается изучением поступления и аккумуляции в водоемах радионуклидов, влиянием их на гидробионты, накоплением их в трофических цепях. «Значительная часть радионуклидов первичного загрязнения среды смыывается с загрязненных поверхностей и с талыми, а также дождевыми водами поступает в открытые и, частично, в грунтовые воды. Источниками постоянных (незначительных) загрязнений являются АЭС, строящиеся, как правило, на берегах водоемов – рек, озер, морей: в ядерно-энергетических установках для охлаждения реакторов используются большие объемы воды, в которые попадают радиоактивные продукты коррозии и незначительная часть радиоактивных отходов. В целом в водную среду Земли (водная площадь которой составляет 2/3 всей ее поверхности) поступает до 80% антропогенных радиоактивных загрязнений, превращая ее в наиболее мощное депо не только естественных, но и искусственных радионуклидов» [Ким, Герашенко, 2010, с. 36-7].

Становление и расцвет радиационных гидробиологических исследований, прежде всего, связан с име-

нем Н.В. Тимофеева-Ресовского [1957, 1958, 1963] и его последователей [Гилева, 1964; Любимова, 1971; Куликов, 1982; и мн. др.]. В конце 1950-х годов в трудах Второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958) была опубликована интересная статья [Жадин и др., 1959], в которой показано (на работах отечественных исследователей), как внедрение в гидробиологию метода радиоактивных изотопов может способствовать решению главных задач гидробиологии – повышению полезной продукции морей и пресных вод и изучению биологических путей освобождения водоемов от антропогенного загрязнения. Так же под редакцией В.И. Жадина выходит сборник [Радиоактивные изотопы..., 1964].

Активизация исследований в рамках радиационной гидробиологии произошла после Чернобыльской катастрофы [Радиоактивное и химическое..., 1992; Лукашев, 2002; Романенко и др., 2006; Радиоэкологический отклик..., 2008 Оценка воздействий..., 2021; и др.]. Хотя сегодня и не все так благолепно – еще 10 лет тому назад было указано на разгром научной инфраструктуры (в частности, экспериментальной базы гидробиологов на водоеме-охладителе ЧАЭС – «сейчас база стоит разбомбленная в прямом смысле этого слова» [Вишневский, Паскевич, 2012]). Завершая свою статью, эти авторы пишут: «Через несколько месяцев в Киеве будет проходить юбилейная (25-летие. – Т.З., Г.Р.) научная конференция, посвященная чернобыльской трагедии. Не трудно догадаться, что с трибуны этого форума представители власти и науки произнесут много патетических речей о значении и уникальности чернобыльской зоны как ценного научного полигона. Так было и так будет. Это происходит каждые пять лет – при “праздновании” круглой даты. Но руины чернобыльской науки прямо и бескомпромиссно свидетельствуют об истинном положении вещей в этой сфере».

Сегодня специальной (административной) структуры, которая занималась бы фундаментальными и прикладными проблемами радиационной гидробиологии, у нас в стране нет. Нет и общей программы таких работ, которая могла бы скоординировать отдельные, проводимые в академических подразделениях и вузах исследования по данной тематике. Нам представляется, что инициативу по созданию такой Программы могли бы взять на себя Научный совет по гидробиологии и ихтиологии РАН и Гидробиологическое общество при РАН.

Сельскохозяйственная гидробиология занимается изучением роли и регуляции водного населения на участках возделывания полуводных культур (в частности риса, кенафа [*Hibiscus cannabinus* L.] и пр.). Выращивание такого рода культур – это «удел» стран юго-восточной Азии; однако и у нас, в Краснодарском крае и Ростовской области, достаточно успешно зани-

маются рисоводством (чуть менее 200 тыс. га рисовых систем с общим урожаем около 1 млн тонн риса-сырца в год). Чтобы получить тонну риса, нужно, примерно, 3500 тонн воды (это почти 1,5 олимпийских 50-метровых бассейна...); соответственно, на выращивание 1 млн тонн риса ежегодно будет «уходить» 3,5 км³ воды (чуть побольше объема Ильмень-озера). Иными словами, гидробиологическое изучение рисовых полей сопоставимо с решением задач частной гидробиологии.

В районах интенсивного рисоводства бывшего СССР (Узбекистан, Киргизия, Казахстан и др.) такого рода работы велись и продолжают вестись; аналогичные исследования имеются и для рисовых полей Краснодарского края [Владимиров, 2009; Владимиров и др., 2017].

Среди проблем *сельскохозяйственной экологии* ряд специалистов выделяют проблемы малых рек, являющихся важным элементом природных комплексов, своеобразной «кровеносной системой» ландшафта, и находящихся, в основном, под воздействием сельскохозяйственной нагрузки. В очень интересной статье (Vörösmarty et al., 2010, p. 558) на основе глобального моделирования были выделены четыре глобальные группы угроз водным ресурсам:

- нарушение водосборов (пахотные земли, поголовье скота, заболачивание и др.);
- загрязнение водотоков (азотом, фосфором, пестицидами и др.);
- использование водных ресурсов (изъятие и сброс сточных вод, нарушение гидрологического режима, зарегулирование и др.);
- биотические факторы (инвазии, уменьшение биоразнообразия, неконтролируемый вылов гидробионтов, воздействие аквакультурных хозяйств и др.).

В этом контексте «чисто» гидробиологическими являются последние, биотические факторы угрозы, хотя и все остальные также оказывают влияние на гидрэкосистемы [Зинченко, Розенберг, 2012, 2021]. Особое внимание следует уделять организмам, вредителям сельскохозяйственных культур (например, хирономидам-минерам [Зинченко, 1982; Дурнова, Воронин, 2008], жаброногим рачкам (*Leptestheria dahalacensis* Sars.), щитням (*Triops cancriformis* Bosc) [Девяткин и др., 2012; Костылев, Артохин, 2014] и видам, поселяющимся на стеблях растений (перифитон).

Рыбохозяйственная гидробиология. Данные о количестве тех или иных водных организмов необходимы и для суммарной оценки их роли в различных гидробиологических процессах, и для роста наших знаний о характере изменений биологической продуктивности водоемов, получения из них наибольшего количества биологического сырья [Богатова, 1980]. Среди докладов Первого и Второго гидрологических съездов было достаточно много сообщений на эту

тому. Эти исследования активно продолжали [Аверинцев, 1948; Никольский, 1961; Абаев, 1980; Негоновская, 1980; Садыхова, 1984; В. Виноградов, 1985, 1993; Хорошко, 1988; Алимов, 1989; Привезенцев, 1991] и продолжают развиваться [Герасимов, 2003; Пономарев и др., 2006; Болтачев, 2007; Калайда, Говоркова, 2013; Балыкин, Болтнев, 2014; Комлацкий и др., 2018; Лагуткина и др., 2019; и мн. др.].

О масштабах мирового рыболовства говорят следующие данные (см., например, (<https://compendium.su/geographic/world/120.html>)). Рыболовство обеспечивает занятость 130–140 млн человек; ежегодный доход от него в начале 1990-х годов составлял \$55 млрд; в мире насчитывается примерно 1,5 млн рыболовных судов; к 2000 году мировое рыболовство и добыча морепродуктов (~10–15% уловов рыбы) достигли 125 млн тонн в год. Хотя некоторые специалисты и называют вторую половину XX века «золотым веком» рыболовства, уже к 1970-м годам в результате перелова рыбы произошло резкое сокращение темпов развития отрасли. Аквакультура стала быстро развиваться также во второй половине XX века. Если в 1975 году ее мировая продукция составляла 5 млн тонн, то к 2005 году она возросла до 45 млн тонн (в 9 раз), а это примерно треть объемов вылова. В России продукция аквакультуры сравнительно невелика и представлена в основном пресноводными видами рыб.

«Советский Союз начал свой китобойный промысел в 1933 году в северной части Тихого океана и активно продолжал его с 1946–1947 годов в Антарктике, куда ежегодно направлялась мощная китобойная флотилия “Слава”. В 1987 году Советский Союз присоединился, хотя и неохотно, к мораторию МКК (*Международная китобойная комиссия – International Whaling Commission; создана 2 декабря 1946 года. – Т.З., Г.Р.*). А в первой половине 1990-х годов, уже в новой России, вокруг этого вопроса шли очень большие споры, причем многие предлагали вообще выйти из МКК и возобновить добычу китов. Однако в 1994 году Россия все же присоединилась к решению МКК о создании заповедника китов в Южном океане. Зато российский китобойный флот, долго стоявший на приколе, занялся промыслом белухи в отечественных морских водах» [<https://compendium.su/geographic/world/122.html>].

Все эти интересные исторические подробности лишней раз свидетельствуют о том, что *рыбохозяйственная гидробиология* остается очень важной частью *прикладной гидробиологии*. Хочется надеяться, что в XXI веке основные усилия исследователей будут сосредоточены на прогнозировании и управлении запасами и воспроизводством океанических и пресноводных рыб и других водных организмов, что, несомненно, повысит эффективность рыбохозяйственного комплекса страны и обеспечит действенность охраны биоресурсов водных объектов.

Техническая (инженерная) гидробиология, как уже отмечалось выше, изучает создаваемые скоплениями гидробионтов помехи при эксплуатации различных гидротехнических сооружений, промышленных установок и водоводов, биологические помехи и повреждения, связанные с судоходством, и пр. «Одним из разделов прикладной гидробиологии является техническая гидробиология, связанная с разнообразной деятельностью человека, направленной на получение материалов, изделий, эксплуатацию технических объектов. Производство электроэнергии на всех типах электростанций (тепловых, атомных, гидравлических), навигация, производство различных веществ и материалов, “наземное” сельское хозяйство в значительной степени связаны с водопотреблением и водопользованием. В этой области техническая гидробиология должна решать вопросы снижения негативного воздействия технических систем на окружающую среду, в частности, на гидросистемы, а также предотвращения биологических помех, вызванных жизнедеятельностью гидробионтов при эксплуатации технических систем» (Протасов, 2010б, с. 10).

«Морская буровая платформа “Оушн Рейнджер”, казалось, может противостоять любому разгулу стихий. По расчетам проектировщиков, она должна была выдерживать удары 33-метровых волн и напор ветра 185 км/ч. И все же в феврале 1982 года, во время одного из штормов, платформа опрокинулась и затонула; находившиеся на ней 83 человека погибли. А ведь и высота волн, и скорость ветра были меньше расчетных. Вполне вероятно, что решающим моментом в возрастании сопротивления волновым нагрузкам стало массовое развитие обрастания, что и привело к катастрофе» (Звягинцев, 2005, с. 11, 2007, с. 8). Апокалипсическая картина. Правда, обрастание судов обычно к катастрофам не приводит, но ведет к снижению скорости судов и вызывает серьезные экономические потери. «А иногда даже имеет стратегическое и геополитическое значение: так, одной из причин поражения в Цусимском сражении называют обрастание днищ кораблей. Стоит отметить также, что поток видов-вселенцев на корпусах судов не подвластен никакой таможенной и карантинной службе» [Звягинцев, 2005, с. 11]. Общий мировой ущерб от морского обрастания на начало XXI века составлял \$50 млрд в год, из них 20% приходилось на обрастание судов [Зевина, 1994].

Работы по гидробиологическому изучению процессов обрастания ведутся весьма активно [Зевина, 1972, 1994; Кафтанникова, Протасов, 1975; Зинченко, 1981; Соколова и др., 1981; Zinchenko, 1989; Биоповреждения... 1987; Оксийок и др., 1987; Протасов и др., 1987, 2004, 2017; Раилкин, 1998; Звягинцев, 2005, 2007; Львова и др., 2005; Протасов, 2009, 2013; Морозовская, Протасов, 2013; Герасимов, 2014; Орлова, Родионов, 2020; и мн. др.].

Почти 60 лет тому назад В.Н. Беклемишев [1964, с. 36] писал: «наши дома, орудия и сооружения входят в качестве неживых частей в новую организацию живого покрова (Земли), которая создается под воздействием человечества». В этом контексте интересен подход украинского гидробиолога А.А. Протасова, работы которого внесли существенный вклад в изучение и решение проблем обрастания в пресных водах (прежде всего, биологические помехи в эксплуатации энергетических станций²). Речь идет о *водных техноэкосистемах* (ВТЭС), под которыми он понимает «совокупность биотопов природного и техноантропогенного характера, их живого населения, объединенных системой прямых и обратных связей, потоками вещества, энергии и информации, изменяющихся в пространстве и во времени» (Протасов, 2013, с. 407). Конечно, он не был первым, кто обратил внимание на особенности таких ВТЭС (природно-технических систем) – назовем лишь некоторые работы (Naveh, 1982, 2000; Федотов, 1985; Бондарик, Ярг, 1990, 2004; Ревзон, 1992; Мазур и др., 1996; Жариков, 2000; E. Odum, 2001; H. Odum, V. Odum, 2003; Протасов, 2009, 2011; Техноэкосистема АЭС., 2011; Протасов, Силаева, 2012; Протасов и др., 2017; Музалевский, 2019); термин «природно-техническая система» широко употребляется в научно-технической литературе и даже в ряде нормативных документов. В статье (Протасов, 2013, с. 419–420) сформулированы следующие особенности техноэкосистем в целом и ВТЭС в частности:

- техноэкосистемы обладают своеобразным составом элементов и особой структурой;
- имеют смешанный источник энергии, кроме солнечной (в том числе и аккумулированной в органическом ископаемом топливе), энергию воздушных и водных течений, ядерного топлива, химических реакций и др.;
- при любом соотношении техно- и геоэлементов именно влияние технических определяет функционирование всей техноэкосистемы как целого;
- в техноэкосистемах техническая составляющая экологически, по характеру своего воздействия на биотические компоненты весьма сходна с другими абиотическими факторами;

² Здесь следует назвать пионерные работы сотрудника Куйбышевской биостанции (впоследствии – ИЭВБ АН СССР) М.Я. Кирпиченко [Кирпиченко и др., 1962, 1963; Ляхов и др., 1964; Кирпиченко, 1965а, б, 1997; Дзюбан, Кирпиченко, 1971, 1972] по детальному изучению в течение ряда лет фенологии, динамики численности и роста личинок *Dreissena polymorpha* (Pallas), что позволило разработать оригинальные методы защиты гидротехнических сооружений, которые используются до сих пор. Основная идея этих методов – разрыв непрерывной цепи стадий развития моллюска (воздействуя любым фактором [нагревание, электрический ток и пр.] или реагентом, возможным к применению в технологическом процессе того или иного производства, где дрейссена оказывает отрицательное воздействие). Данный принцип стал стержневым моментом во всех исследованиях по борьбе с любыми биологическими обрастаниями.

• биотические элементы не только находятся под влиянием косных, но и воздействуют как на природные, так и техногенные элементы;

- техноэкосистемы пространственно сложно выделить среди природных;
- техноэкосистемы чрезвычайно разнообразны по своей структуре, предназначению, функционированию, что затрудняет их типизацию;
- природные экосистемы и биогеомы имеют определенную эволюционную связь, техноэкосистемы возникают, существуют, развиваются обособленно.

Заслуга Протасова состоит в том, что он продемонстрировал, «что конструирование технических систем, имеющих связь с водными объектами, невозможно без учета многих биотических и экологических факторов. Хотя все еще преобладает важный, но достаточно односторонний “природоохранный” подход, который сейчас определенным образом модифицируется на базе превалирования методов биоиндикации над физико-химическими аналитическими методами контроля, основная задача технической гидробиологии (а частично, на наш взгляд, и санитарной) состоит не только в контроле, важность которого не вызывает сомнения, но и в разработке принципов и методов управления целостной техноэкосистемой. Эффективное управление этими системами, равно как и агроэкосистемами, – основа гармонизации отношений человека с биосферой планеты» [Протасов, 2013, с. 420]. А перед этим там же читаем: «Вопрос о роли техноэкосистем в биосферных процессах чрезвычайно важен, что предполагает дальнейшие теоретические разработки в этой области». Попробуем внести свой вклад в такого рода разработки [Розенберг, 2019а].

Более 40 лет тому назад израильский ландшафтный эколог З. Наве предложил *концепцию Всеохватывающей экосистемы с человеком* (Total Human Ecosystem, ТНЕ; [Naveh, 1982, 2000; Naveh, Lieberman, 1983]). «Всеохватывающую экосистему с человеком следует рассматривать как высшую коэволюционную экологическую единицу на Земле, а ландшафты – ее конкретные трехмерные системы “гештальты” (*нем. Gestalt – целостная форма или структура. – Т.З., Г.Р.*), образующие пространственную и функциональную матрицу для всех организмов (включая людей) и их популяций, сообществ и экосистем. Поэтому ландшафты представляют собой нечто большее, чем повторяющиеся экосистемы на протяжении километров. Они должны изучаться и управляться самостоятельно в разных функциональных и пространственных масштабах и измерениях» [Naveh, 2000, p. 358].

Экоцентрическая концепция ТНЕ ставит своей целью изучение «экосистем с человеком» для повышения эффективности планирования и управления окружающей средой в рамках комплексного и междисциплинарного подхода. Можно сказать, – это следующий

шаг по градиенту «экосистема (А. Тенсли) – техно-экосистема (А. Протасов) – ТНЕ (З. Наве)». Эта концепция объединяет техносферу, ноосферу и биосферу Земли в некую общую среду на самом высоком коэволюционном уровне (З. Наве часто в качестве синонима ТНЕ использует понятие «экосфера»; первое использование термина см. [Cole, 1958]). Приведем всего два современных определения «экосферы».

- «Экосфера: 1) совокупность абиотических объектов и характеристик Земли, создающая на ней условия для развития жизни (то есть *биотоп биосферы*) <...>; 2) синоним биосферы (редко, главным образом в иностранной литературе); 3) совокупность свойств пространства, находящегося под влиянием космического тела <...>; 4) среда развития хозяйства; 5) синоним *окружающей человека среды*» [Реймерс, 1990, с. 600].

- «Итак, экосфера = современная биосфера + техносфера. В таком понимании экосфера предстает как арена взаимодействий человека и природы, на которой сосредоточены все современные экологические проблемы и коллизии. Экосфера становится главным объектом современной “большой” экологии» [Акимова и др., 2001, с. 29].

В той или иной интерпретации понятие «экосфера» (ТНЕ) продолжает использоваться в научной литературе [Ehrlich et al., 1971; Коммонер, 1974; А. Павлов, 2006, 2013; Мушин, Кочуров, 2013, 2015; Розенберг, 2019а; и др.]. Не будем оригинальными и примем следующую формулу:

$$\begin{aligned} & \text{биосфера} \\ & + \\ & \text{ноосфера} \\ & + \\ & \text{техносфера} = \\ & = \text{экосфера.} \end{aligned}$$

Иными словами, можно смело принять за аксиому тот факт, что современные глобальные экологические проблемы являются результатом столкновения между техносферой и ноосферой, с одной стороны, и биосферой – с другой; причем в этом столкновении техносфера играет активно-агрессивную роль. Если пользоваться экологической терминологией, то речь, в сущности, идет о процессе *конкурентного вытеснения* биосферы техносферой (оккупация планеты), все возрастающей экспансии человеческой цивилизации. Поскольку техносфера, ноосфера и биосфера находятся в постоянном взаимодействии, их сумму можно представить как единую систему – экосферу (ТНЕ). Именно человечество, ресурсы и продукты его производства оказывают серьезное влияние на процессы, протекающие в экосфере, вмешиваются в природный круговорот, изменяя его сбалансированность и гармо-

ничность. «Всеохватывающая экосистема с человеком (Total Human Ecosystem – ТНЕ), объединяющая людей со всеми другими организмами и их общей средой на самом высоком уровне глобальной иерархии, должна стать объединяющей целостной парадигмой для всех синтетических “экодисциплин”» [Naveh, 2005, p. 228]. Естественно, все это относится и к гидроэкосистемам:

$$\begin{aligned} & \text{гидросфера} \\ & + \\ & \text{управление,} \\ & \text{регулирование} \\ & + \\ & \text{антропогенные объекты} = \\ & \text{в соприкосновении с водой} \\ & = \text{гидроэкосфера.} \end{aligned}$$

Особый тип ландшафтов в рамках ТНЕ – это *культурные ландшафты*, в которых отношения между человеческой деятельностью (как эффективной, основанной на экологии, управлением землей или водными объектами) и окружающей средой создали экологические, социально-экономические и культурные модели и механизмы обратной связи, которые сохраняют биологическое и культурное разнообразие и поддерживают (улучшают, повышают) устойчивость экосистем и способствуют устойчивому развитию ТНЕ. Новые ландшафты, новое поведение человека и связанные с этим новые и неожиданные проблемы могут способствовать переосмыслению экологических (гидробиологических) законов и инициировать новые практические действия.

Космическая гидробиология. Космическая эра человечества началась 4 октября 1957 года с запуском советского космического аппарата, первого в мире искусственного спутника Земли. Начали сбываться слова К.Э. Циолковского о том, что человечество не останется вечно на Земле. Процесс пошел...

Естественно, для длительных экспедиций привезти с Земли на станцию все (воздух, воду, пищу и пр.) – задача почти неосуществимая; необходимо было создание системы жизнеобеспечения с полной замкнутостью потоков вещества [Газенко и др., 1987; Гришин, 1989]. Первая экспериментальная установка (БИОС-1) появилась в 1964 году в лаборатории биофизики Института физики СО АН СССР (Красноярск) – производимого в ней одноклеточными водорослями рода хлореллы (*Chlorella* Beij., 1890) кислорода было достаточно для одного человека; затем ученые смогли увеличить время пребывания в замкнутом объеме с 12 часов до 30 суток, а позднее был замкнут и водообмен, что позволило провести 45-суточный опыт (<https://back-in-ussr.com/2015/11/zamknutyebiosistemysovetskihuchenyh.html>). Можно говорить о том, что в

1964 году начались работы по космической гидробиологии. В настоящее время хлорелла, а также некоторые другие виды микроводорослей – рода сценедесмус (*Scenedesmus* Meyen, 1829), спирулина (*Arthrospira*) и др. – используются как модельные биообъекты автотрофного звена искусственных экосистем.

На МКС и в открытом космосе с июня 2007-го года по июль 2008-го проводился эксперимент «Биориск-МСН» с целью изучения возможности существования живых организмов в открытом космосе: объекты (среди которых были и гидробионты – ракообразные в состоянии покоя и личинки комара африканской хирономиды *Polypedium vanderplanki* Hinton, 1951 – подвергались температурному (от –100 до +100 °С) и радиационному воздействию (<https://www.roscosmos.ru/5832/>). С этим же видом хирономид в 2014 году на МКС был проведен эксперимент «SpaceMidge», в ходе которого впервые была показана возможность полного цикла метаморфоза у водных насекомых (<https://www.nkj.ru/news/24150/>). Интересна и серия совместных российско-японских экспериментов «Аквариум-AQH» [Alekseev et al., 2007; Алексеев и др., 2011]. Все это, как считается, поможет решить важную для будущих межпланетных перелетов проблему планетарного карантина и планетарной защиты. Заявленная программа экспериментов продолжается.

Как уже нами неоднократно отмечалось, эффективное управление водными ресурсами – одна из важных глобальных задач, стоящих перед человечеством. И эта задача не может быть решена без наличия достоверной и оперативной информации. С этих позиций исследование Земли из Космоса также является важным инструментом получения такого рода экоинформации. Это касается как наземных (ландшафтных и гидрологических) исследований (например, [Абросимов, Дворкин, 2009; Розенберг и др., 2012; Рылов и др., 2015; Бердников и др., 2016]), так и гидробиологических [Незлин, 2001; Ткаченко, 2004, 2012 и др.].

Всего один пример. При использовании аэрокосмической съемки в гидробиологических исследованиях наибольшие перспективы имеет зондирование морского дна в видимой части спектра. Непосредственно в гидробиологических исследованиях аэрокосмическая съемка наиболее задействована в картировании и многолетнем мониторинге ландшафтно-бентосных комплексов в верхней части морского шельфа [Ткаченко, 2001, 2004]. «Наибольшее развитие, начиная с конца 80-х годов прошлого века, аэрокосмическая фото- и сканерная съемка получила в исследованиях коралловых рифов в связи с более приемлемыми оптическими характеристиками тропических вод, актуальностью широкомасштабного картирования коралловых мелководий из-за их исключительной важности как биоресурса для человечества и в связи с их наибольшим биоразнообразием среди всех

морских экосистем, высокой динамичностью и наибольшей уязвимостью под влиянием природных и антропогенных факторов» [Ткаченко, 2012, с. 20]. С использованием дистанционного зондирования морского дна и оригинальных методов дешифрования и обработки снимков для гидробиологических исследований была продемонстрирована возможность использования аэрокосмических изображений для картирования, классификации и мониторинга бентосных сообществ верхней части морского шельфа, таких как коралловые рифы, водоросли и морские травы; показаны перспективы использования спектральных характеристик гидробионтов и неорганических компонент биотопов в дешифрировании аэрокосмических изображений дна. Правда, отмечается, что «несмотря на то, что некоторые современные спутниковые сенсоры (Ikonos, Quick-Bird) имеют пространственное разрешение, соразмерное с таковым при аэросъемке, проблема рассеяния света в воздушной и водной средах вместе с относительно слабым спектральным разрешением спутниковых сенсоров в настоящее время осложняет их использование для детального картирования (с точностью >70%) ландшафтно-бентосных комплексов, особенно это относится к классификации и определению текущего статуса доминирующих типов бентоса на коралловых рифах» [Ткаченко, 2012, с. 23]. Иными словами, работы в этом направлении следует продолжать, подкрепляя их натурными наблюдениями для более эффективной интерпретации получаемых снимков.

Гидробиологическое образование. Еще академик С.А. Зернов [1934, с. 33–34] в своей книге «Общая гидробиология» писал: «Гидробиология, в соответствии со своей теоретической установкой и практическим значением, преподается у нас в ряде вузов, втузов и техникумов; первая профессура по гидробиологии в России была установлена в 1914 году на рыбохозяйственном отделении (затем факультете) Петровской (теперь Тимирязевской) с.-х. академии (основателем и первым заведующим был Л.С. Берг. – *Т.З., Г.Р.*), преобразованном в 1930 году в Московский институт рыбной промышленности. В МГУ, ЛГУ и в ряде других университетов Союза имеются гидробиологические циклы на биофаке. В Плехановском институте в Москве гидробиология ведется с уклоном в сторону биологической оценки питьевых и сточных вод».

В настоящее время в целях подготовки специалистов, понимающих стратегическую значимость гидробиологии и предметов, связанных с водными ресурсами, в системе образовательных дисциплин, в соответствии с учебными программами в университетах (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет, Сибирский Федеральный университет, Мурманский арктический государственный

университет, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Челябинский государственный университет, Керченский государственный морской технологический университет, Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Ярославский государственный университет им П.Г. Демидова, Камчатский государственный технический университет, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина и ряд других высших учебных заведений), гидробиология базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин: «Общая гидробиология», «Зоология», «Экология», «Водные растения», «Экология водных организмов», «Фауна Каспийского моря», а также на материалах дисциплин профессионального цикла «Товарное рыбоводство», «Промысловая ихтиология» «Санитарная гидробиология», «Аклиматизация водных организмов», «Декоративное рыбоводство», «Водная экология», «Биотестирование вод», «Водная токсикология» и др. Целью дисциплины является ознакомление студентов с основным объектом исследования гидробиологии – водными экологическими системами, их структурой и функциональными особенностями, без знания которых невозможно в настоящее время рациональное использование биологических ресурсов, охрана гидросферы от загрязнения, научное прогнозирование ее состояния и умение студентов, будущих специалистов, оценить вклад гидробионтов в биогеохимические процессы океана и биосферы на современном этапе.

При этом одной из приоритетных задач дисциплины «гидробиология» является изучение эколого-физиологических и чисто экологических процессов, протекающих в гидросфере и ее пограничных областях. Результаты этих исследований дают возможность рационально использовать ресурсы водных, прибрежно-водных и всех наземных объектов, развивать аквакультуру, организовывать службы биологического мониторинга, оценивать качество воды, а также очищать воду, в том числе биологическими методами. При широком биосферном понимании гидросферы, а соответственно и гидробиологии, выделяются общие и частные направления (разделы) гидробиологии. Изучаются условия существования гидробионтов в гидросфере, определяемых свойствами самой воды, донных осадков, обуславливающих ряд важнейших морфофизиологических особенностей гидробионтов, влияющих на их распределение, поведение, на всю совокупность процессов жизнедеятельности; студенты познают основы закономерностей биологических явлений и процессов, происходящих в гидросфере, изучают экологические основы жизнедеятельности гидробионтов (питание, водно-солевой обмен, дыхание, рост и развитие), биологических систем в гидросфе-

ре (популяции, биоценозы), их структуру и функциональные особенности.

Несмотря на то, что гидробиология постоянно развивается, появляются новые специализации, но фундаментальные приоритетные экологические направления и практические задачи остаются неизменными.

Что же ждет тех, кто решил избрать профессию гидробиолога? Вот так рисуется карьерный рост гидробиолога на сайте Vuzopedia: «Карьерные перспективы гидробиолога нужно рассматривать в научной сфере и экономической деятельности. Ученые-гидробиологи публикуют научные работы, участвуют в международных конференциях, проводят много времени в научных экспедициях. Основным признаком профессионального успеха гидробиолога является завоевание признания в профессиональной среде, получение научного звания. В экономическом плане гидробиологи обеспечивают добычу и восполнение биологических ресурсов в морях и пресноводных водоемах. В их услугах заинтересованы рыбоводческие предприятия, рыболовные компании, экологические и природные защитные организации. Гидробиолог является важным специалистом в штате компаний, занимающихся разведением рыб, моллюсков, растений и т. д. В таких организациях есть возможность занятия должности ведущего специалиста или руководителя. Также можно построить успешную карьеру в государственных структурах, контролирующих вылов морских биоресурсов» (<https://vuzopedia.ru/professii/407>).

Несомненно, очень важно, чтобы, в целях подготовки специалистов, понимающих стратегическую значимость гидробиологии и предметов, связанных с водными ресурсами, уделять внимание ранней профориентации и мотивации школьников, используя для этого стационарные городские экологические образовательные площадки, выездные детские экологические лагеря и экспедиции, а также средства массовой информации, активно заниматься научной, педагогической и просветительской деятельностью [Камнев, 2015]. В этой связи можно перечислить немного отечественных журналов, публикующих результаты гидробиологических исследований.

Да, есть журналы «Биология внутренних вод» (учредители: Российская академия наук и Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН), «Биология моря» (учредители: РАН и ДВО РАН) и «Морской биологический журнал» (учредители: Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН и Зоологический институт РАН), ориентированные на гидробиологические исследования пресноводных и морских гидрэкосистем. Гидробиологические работы публикуют и другие академические журналы – «Аридные экосистемы», «Ботанический журнал», «Водные ресурсы», «Вопросы ихтиологии», «Евразийский энтомологический журнал», «Журнал общей

биологии», «Зоологический журнал», «Океанология», «Поволжский экологический журнал», «Успехи современной биологии», «Цитология», «Экология», – вузовские издания и журналы отдельных академических и научно-исследовательских институтов и обществ («Астраханский вестник экологического образования», «Биосфера», «Вестник Московского университета. Биология», «Вестник Томского государственного университета. Биология», «Вестник Тюменского государственного университета», «Вода: химия и экология», «Вопросы современной альгологии», «Карельский научный журнал», «Принципы экологии», «Региональная экология», «Российский журнал биологических инвазий», «Российский журнал прикладной экологии», «Рыбное хозяйство», «Самарская Лука. Проблемы региональной и глобальной экологии», «Ученые записки Казанского университета», «Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова», «Экология и промышленность России» и др.). Еще есть научно-популярные журналы: «Знание – сила», «Наука и жизнь», «Природа», морской познавательный журнал «!Ocean», и другие издания, которые могут быть использованы не только как платформы для обмена научной информацией, но и для популяризации гидроэкологических знаний. Однако хотелось бы (дань традиции?) возродить «Русский гидробиологический журнал», издававшийся при Волжской биологической станции в 1921–1929 годах в Саратове. «Вне всякого сомнения, это был один из авторитетнейших гидробиологических журналов того времени, а поскольку статьи сопровождалась очень подробными рефератами на немецком, французском или английском языках, о нем знали и за рубежом» [Карпинский, 2009, с. 251].

Заканчивая наши размышления о путях развития гидробиологии (движение по «траектории гидробиологии» по выражению М.И. Гладышева [2020]), отметим, что процесс ее «экологизации» – от аутигидроэкологии (физиологии водных организмов) через демигидроэкологию (популяционный уровень) к сингидроэкологии (анализ гидроэкосистем) – будет продолжаться, и это в теоретическом плане потребует разработки (переложения, «перевода») 12 основных экологических концепций [Розенберг и др., 1999]:

- *совокупного действия факторов на гидробионты и гидроэкосистемы* (факториальная гидробиология);
- *устойчивости популяций* (типы жизненных стратегий);
- *минимального размера популяций* (оптимальный размер рыбной стаи или косяка);
- *взаимодействия популяций* (общебиологический принцип конкурентного исключения Гаузе, кстати, был сформулирован при изучении конкуренции между двумя видами гидробионтов – инфузориями *Paramecium aurelia* и *P. caudatum*);

- *экологической ниши* (см. принцип плотной упаковки экологических ниш [Brave et al., 2011; Petersen et al., 2011; Шитиков и др., 2021]);

- *биологического разнообразия* (постулаты видовой обедненности, гипотезы альфа-, бета- и гамма-разнообразия и др.);

- *экосистемы* (закон оптимальной компонентной дополненности – континуума (представления о речном континууме (см. [Vannote et al., 1980; Богатов, 2013; Зинченко, Шитиков, 2015], объединение видов по жизненным формам (экобиоморфам), характер адаптаций и др.);

- *зональности* (мозаичности гидроэкосистем, правило предварения (?), правило викариата и др.);

- *климакса* (принцип сукцессионного замещения, модели сукцессий и др.);

- *сетчатой эволюции сообществ* (принцип эволюционно-экологической необратимости, правило «age and area» и др.);

- *биосферы* (гидросфера; принцип максимизации энергии, законы пирамид чисел, биомассы, продуктивности, правило десяти (?) процентов, модели крупных гидроэкосистем – см. например [Ворович и др., 1981; Рациональное использование..., 1981]³).

Движение по этой «траектории» обеспечит гидробиологии наиболее эффективное выполнение основных задач, которые были сформулированы еще С.А. Зерновым [1934, с. 10–11, 15]: «Исследовательская работа в области гидробиологии разветвляется прежде всего по двум основным направлениям – хронологическому и экологическому. В применении к гидробиологии задача *хронологии* – изучение распределения в пространстве водных организмов, сообществ водных организмов и типов водных бассейнов; задача же *экологии* – изучение приспособления водных организмов к окружающей среде (выделено автором. – Т.З., Г.Р.). Однако совершенно очевидно, что изучение всего того комплекса проблем, который возникает в гидробиологии в отношении трех ее основных единиц – водного организма, сообщества водных организмов и типа водного бассейна, – не может быть проведено изолировано, вне связи с теми различными путями, по которым вообще работает в настоящее время биология. <...> Гидробиология необходима и для работ по культурному рыбному хозяйству». Естественно, что за 90 лет спектр воздействующих на гидробионты факторов сильно расширился, как и список биологических, географических, социо-экономических и других научных дисциплин, применение которых в гидробиологии выводит ее на новый уровень систем-

³ Авторский коллектив был отмечен Государственной премией по науке и технике СССР 1983 года за работу «Имитационная модель экосистемы Азовского моря как средство системного анализа, прогнозирования и управления природно-техническим комплексом».

ности (комплексности) в исследовании водных организмов и гидросистем и делает (наряду с фитицелогией) одним из самых успешно развивающихся разделов общей экологии.

Надо признать и то, что период активного развития и использования основ гидробиологических знаний в экономических целях (в частности, для активного вылова промысловых гидробионтов) и для глубокого всестороннего исследования гидросферы с использованием всевозможных технических средств, включая космические и подводные аппараты, хотя и продолжается, однако наблюдается падение интереса к гидробиологии (с 90-х годов XX века по настоящее время), причиной чему, с одной стороны, является серьезный экономический кризис, загрязнение окружающей среды, уменьшение запасов пресноводных источников, и, параллельно, изменившаяся система образования (в частности, сроки обучения в вузах), что обуславливает, в целях сохранения национальной безопасности, пересмотр отношения государства к ряду научных направлений. В частности, к гидробиологии, которая должна стать стратегической дисциплиной государственного значения [Камнев, 2015].

Безусловно, сегодня правильное решение задач гидробиологии возможно только при системном и комплексном подходе и обязательно совместно со специалистами других областей науки – океанологии и лимнологии, гидрологии и гидрохимии, гидрогеологии и геоморфологии, почвоведения и биогеографии, метеорологии и климатологии, гляциологии, экономической географии и др. Вместе с тем, следует отметить, что в настоящее время во всем мире изменился вектор интересов «больших администраторов от науки», имеющих финансовые ресурсы, к комплексному развитию различных направлений в науке, в частности, к классической биологии. Приоритеты исследования целостности живых систем ушли на второй план, а основными стали исследования, связанные с использованием методов молекулярной биологии. Плохо это или хорошо? Такие периоды в развитии гидробиологии, выдвигаемые запросами жизни и логикой развития науки, направлены на создание теории прогнозируемых экосистем под влиянием различных факторов; однако, разрабатывая генеральную стратегию отношения к гидросфере, нельзя ни на минуту забывать об опасности нарушения обмена веществ и энергии между человеком и природой.

Профессор МГУ А.Н. Камнев [2015] сформулировал следующие первоочередные задачи современной гидробиологии:

1. Сохранение и очистка воды различных природных водных объектов и всех категорий сточных, канализационных и технических вод (*повышение роли санитарной гидробиологии*).
2. Усовершенствование методов оценки запасов про-

мысловых гидробионтов, их вылова, а также методов сбора и использования штормовых выбросов; уточнение и определение квот вылова (*развитие системной, теоретической и продукционной гидробиологии*).

3. Аквакультура как способ повышения продуктивности водных экосистем (*продукционная гидробиология*).
4. Оценка влияния изменения глобальных климатических условий на водные экосистемы и отдельные виды гидробионтов (*дань моде, но также такого рода исследования должны опираться на серьезную теоретическую базу*).
5. Оценка влияния глобальной ацидификации на гидросистемы (*«глобальную ацидификацию», как, впрочем, и глобальные процессы засоления водных объектов, можно рассматривать в контексте предыдущего пункта о влиянии климатических изменений на них*).
6. Участие в создании новой, более совершенной законодательной базы, связанной с водными ресурсами, добычей и использованием гидробионтов (*зависит от «заказа» государства, гражданской позиции и прочих условий социально-экономического характера*).
7. Проформентационная и просветительская деятельность в области охраны и рационального использования водных ресурсов (*такого рода знания никогда не будут вредными для общества...*).

Изложенные ранее основные направления развития современной гидробиологии не противоречат этим задачам, что позволяет, «не изобретая велосипеда», принять их «за основу» и расширить с учетом некоторых наших предложений. По мнению А.Н. Камнева [2015], «в ближайшее время, исходя из здравого смысла, сложившихся экономических условий и ухудшения экологической обстановки как в России, так и в мире, должен наступить период нового проявления интереса к классической биологии, а также гидробиологии (*период возрождения гидробиологии*) и более рационального использования накопленных ею знаний (*выделено автором. – Т.З., Г.Р.*)», с чем не можем не согласиться и мы.

Все это подтверждает справедливость слов академика В.И. Вернадского [1933, с. 9; 2003, с. 20]: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы с ней сравниться по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Нет земного вещества – минерала, горной породы, живого тела, которое бы ее не заключало. Все земное вещество – под влиянием свойственных воде частичных сил, ее паробразного состояния, ее вездесущности в верхней части планеты – ею проникнуто и охвачено. Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты опре-

деляются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами».

Любая открытая рецензия на ту или иную публикацию – это уже и есть элемент научной дискуссии. Однако в истории науки (особенно отечественной) можно найти примеры специально организованных обсуждений путей развития тех или иных научных направлений. На гидробиологической секции Фаунистической конференции Зоологического института АН СССР (3–8 февраля 1932 года) прошла дискуссия о путях развития гидробиологии [6]; дискуссия по проблеме биологической продуктивности водоемов развернулась в 1936–1937 годах на страницах «Зоологического журнала» (см. [Рижинашвили, 1921, с. 111–120]). Позже, через 30–40 лет о путях развития гидробиологической науки писали А.С. Константинов [5] и Г.Г. Винберг [1977]; через сходный промежуток времени мы вновь наблюдаем повышение интереса к этой теме [Протасов, 2010а,б; Алимов и др., 2013; Камнев, 2015, 2016, 2017; Гладышев, 2020].

В своей монографии [4] мы сознательно, даже несколько провокационно, включили главу об основных направлениях развития гидробиологии с надеждой на то, что она станет «затравкой» для дискуссии по этой важной проблеме; эта глава и оформлена в виде статьи, представленной выше. Еще до выхода монографии в начале марта 2022 года и, естественно, после мы разослали ее PDF-файлы коллегам с просьбой не только сделать замечания, но и поучаствовать в предлагаемой дискуссии.

Одним из первых на наше предложение отреагировал еще в конце 2021 года почетный член гидробиологического общества, профессор А.А. Протасов (Киев, Украина). Мы отдельно останавливаемся на этом случае, так как год назад многие международные научные отношения, в том числе и с нашими украинскими научными коллегами, были прерваны. В письме А.А. Протасова к Г.С. Розенбергу как к главному редактору журнала «Биосфера» он попросил приостановить свою деятельность в составе редколлегии журнала и не публиковать его дискуссионную статью, но разрешил частично использовать ее текст.

Статья А.А. Протасова действительно показалась нам интересной и конструктивной, что мотивировало нас к приведению обширных цитат из нее в качестве начала дискуссии, коль скоро Александр Алексеевич не оговорил объем «частичности».

Протасов А.А.: из заметок на полях книги об истории, настоящем и будущем гидробиологии

Между *Заметками* на полях и развернутой *Рецензией* есть существенные различия. Рецензия пишется после того, как книга прочитана, осмыслены ее основ-

ные положения, это оценка ее структурных, стилистических, а для научной книги главное – информативных достоинств. Рецензия – сама по себе исследование проблемы. Заметки же делаются по ходу знакомства с книгой, когда читатель еще не имеет представления о том, куда выведут автора те или иные изыскания. В лучшем случае, если работы автора известны, можно сопоставить читаемое с его прежними работами.

Заметка к названию книги. Гидробиология 20-х годов..., а ведь это интересно, сто лет для науки — это очень большой срок. Сама задумка неординарна, авторы заставляют нас не только вспомнить о давних уже годах становления гидробиологической науки, но непосредственно погрузиться в ту эпоху. Никто из делегатов тех съездов не мог знать, что через полтора десятка лет жизнь многих из них будет определять не их научный потенциал, не научные достижения, а фокусы политической системы. Стоит заметить, что гидробиологи тогда еще не имели возможности проводить собственные научные форумы, находились под «зонтиком» гидрологии. И здесь можно сделать такую заметку: съезды-то были гидрологические, а гидрология и гидробиология тесно связаны; было бы неплохо, если бы авторы книги сделали небольшой обзор и гидрологических докладов, тех, что имели связь с гидробиологией.

<...>

В самом начале книги авторы упомянули историю, когда автор сих заметок пытался разыскать материалы съездов в связи с интересом к научной судьбе одного украинско-российско-американского ученого. Материалы были найдены на просторах интернета. Если материалы в общем-то находимы, то может быть, перепечатка их в книге излишня? И вот здесь одна из *важных заметок на полях*: идея авторов – это большая удача, сами тезисы докладов и современные комментарии к ним чрезвычайно важны! Надо сказать, что относительно доступности научной литературы интернет как-то все более сужается и коммерциализируется. Поэтому я, как, наверное, и многие гидробиологи, экологи, очень признательны Г.С. Розенбергу и его коллегам, которые сделали доступными классические экологические работы [Маргалеф, 2011; Розенберг, 2004]; данная книга – это еще один шаг в области просветительства, это ее важный аспект.

Биографические справки к докладам на съездах, да еще с портретами ученых, многие из которых, наверное, разыскать было не так-то просто, украшают книгу. История, рассказанная как бы самими учеными. Вот она, проходит перед нами галерея замечательных исследователей: Н.М. Книпович, Л.С. Берг, Л.А. Зенкевич, В.И. Жадин, десятки специалистов, труды которых заложили основы гидробиологической науки. И если история и судьба научных трудов перед нами – в этих тезисах, статьях, – то человеческие судьбы их

как запутаны! Судьбы и история. Вот портрет – классический образ профессора: пенсне, борода клинышком. Профессор Д.Е. Белинг (1882–1949). Ихтиолог, гидробиолог, знаток фауны Днепра. С 1922 по 1937 год был директором Днепровской биологической, затем Гидробиологической станции. В 1937 году был арестован как «шпион», однако в июне 1941 года, как можно прочесть в Википедии (русский и украинский варианты), был назначен первым директором Гидробиологического института Академии наук УССР. Однако в книге по истории гидробиологических исследований [3] читаем, что с 1939 года директором института, созданного в 1940 году, был известный альголог Я.В. Ролл. История полна противоречий. Судьба Белинга сложилась драматично. В начале войны в Уфу была эвакуирована только половина состава института, и он остался в Киеве и руководил оставшимся фрагментом института, уже в условиях оккупации. Эвакуировался в 1944-м, но уже на запад, и закончил жизнь профессором Геттингенского университета. Позади у всех докладчиков были революция и гражданская война, впереди – репрессии, новая война. И наука.

Совершенно естественно, что обзор и анализ материалов научных работ 100-летней давности приводят нас к современности. Одним из ключевых вопросов, который поднимали периодически гидробиологи, был вопрос о структуре гидробиологии. Авторы приводят свою классификацию гидробиологических проблем. Здесь можно *сделать такую заметку*: за сто лет основные структурные элементы гидробиологической науки существенных изменений не претерпели. Стоит отметить относительно новые разделы: системная гидробиология, этологическая, из более частных проблем – изучение последствий термификации, повышения кислотности водной среды, загрязнение специфическими именно для нашего времени веществами, радиологическая и космическая гидробиология. Но ключевым вопросом остается все-таки вопрос о предмете гидробиологии. Можно согласиться с М.И. Гладышевым [2020], что гидробиология – наука более широкая, нежели просто «мокрая версия экологии» [7]. Она должна изучать все проявления жизни в гидросфере, точнее – в обитаемой части гидросферы (если исключить ледники и пары атмосферы), при необходимости исследовать и саму гидросферу как арену жизни. Пользуясь терминологией и подходами В.И. Вернадского [1], гидробиологию следует рассматривать как науку о живом веществе в гидросфере. Около 450 млн лет назад биосфера резко разделилась на две «подсферы» – условно, старую, гидробионтную и совершенно новую – атмобионтную. Каковы же были основные адаптации атмобионтов, как они возникли, чем принципиально отличаются эпигейные экосистемы от водных – все это могло стать предметом иссле-

дований и обобщений весьма важной науки – атмобиологии [Зернов, 1949]. Если добавить к гидробиологии атмобиологию, то эти две науки, гидробиология вместе с атмобиологией (вероятно, и с литобиологией), могли бы составить единую науку Геобиология (может быть, Гайябиология) – науку о жизни на Земле. Стоит задуматься над тем, почему, собственно, такая наука не появилась.

Авторы приводят 12 основных экологических концепций в приложении их к гидробиологии. Но если считать, что гидробиология имеет свой объект и предмет исследований, то должна иметь она и свои, специфические для нее концепции. Не стоило бы здесь выделить и собственно гидробиологические, такие концепции как экотопических группировок гидробионтов, экоморфогенеза в условиях гидросферы, контурных и внутренних экосистем и сообществ, биогеомов гидросферы?

Если перейти от проблем общей гидробиологии к частным и прикладным, то я бы остановился на разделе «техническая гидробиология». Задачи, которые перечислены в нем, были сформулированы еще в 1930-х [Никитинский, 1938]. Однако представляется, что область технической гидробиологии сейчас гораздо шире, и это вытекает из представлений об основном предмете этого раздела гидробиологии, а именно – о техноэкосистеме. Добавляя в природные экосистемы антропогенные элементы биотопов или создавая целые новые техноэкосистемы, человек активно вмешивается в изменения структуры биосферы в целом. Техническая гидробиология, с ее основным объектом – водной техноэкосистемой (ВТЭС), выходит тогда за рамки прикладной гидробиологии и «вписывается» в такие обширные концепции, как концепция Всеохватывающей экосистемы с человеком (ТНЕ [Naveh, 1983]). В очередной раз благодарен Г.С. Розенбергу и его коллегам за его просветительскую деятельность: вот и сейчас, благодаря ссылкам в книге, переводу статьи З. Наве и комментарию [Розенберг, 2019], я и другие читатели, думаю, познакомятся с этой интересной теоретической работой. Концепция ТНЕ по своей внутренней идее настолько сильно перекликается с ноосферой В.И. Вернадского [2], что, на мой взгляд, заслуживает внимания в первую очередь потому, что, популяризирует его идеи среди англоязычных читателей, которые вряд ли будут обращаться к публикации Владимира Ивановича 1945 года. Здесь открывается широкое поле для дискуссий и обсуждений. Однако терминологический калейдоскоп в этой области весьма осложняет взаимопонимание. После того как почти 80 лет назад В.И. Вернадский писал: «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой» [2, с. 464], все исследования, эмпирические обобщения могут иметь дело только с частностями.

Обсуждения глобальных проблем в книге тем и хо- роши, что заставляют в который раз сформулировать, может быть скорректировать собственные представ- ления. Здесь выстраивается такая логика. Живые ор- ганизмы не могут существовать вне экосистем, вне биосферы. Экосистема есть естественная единица би- осферы как биокосной фрактальной системы. Человек как биологический вид ничего нового не внес в строе- ние экосистем и биосферу, пока его деятельность была связана с природными материалами, природными процессами. Создание новых материалов, использо- вание других, кроме солнечной, источников энергии, а самое главное – создание и поддержание экосистем, которые лишены свойств аутопоэза (см. [Розенберг, 2019]), – вот что сделало человечество геологической силой, а его активность – геологическим фактором. Стоит подчеркнуть, что под ноосферой Вернадский понимал новое состояние биосферы. Несколько упро-

щенно, переход к ноосфере можно сопоставить с пе- реходом от венда к кембрию, тогда тоже появилось много «отходов» в виде остатков скелетов, и, надо ска- зать, биосфера с этим кризисом справилась. благода- ря «кризису деструкции» в карбоне мы имеем запасы ископаемого топлива, но в конце мезозоя (110–75 млн лет назад [2]), когда формировались лесные биогеомы, этот кризис был уже преодолен.

Если биосфера, эта пленка жизни, представляется действительно как сфера, бережно оболочивающая поверхность планеты, то ноосфера пока скорее похо- жа не на сферу, а на «ноокуб», вершины и грани ко- торого нелепо торчат в самых неподходящих местах.

Как оказалось, «поля» у книги Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга гораздо шире, чем могло бы показаться при начальном знакомстве. Прошлое, настоящее и будущее оказались тесно связанными. Книга застав- ляет лишний раз задуматься об этом.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Мысль, 1994.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. В кн.: Ви- брані наукові праці академіка В.І. Вернадського. Т. 4. Кн. 2. Киев; 2012. С. 453-65.
3. Романенко В.Д., ред. Гідробіологічні досліджен- ня континентальних водойм в Національній ака- демії наук України (до 90-річчя НАН України). ред. Киев: СПД Москаленко О.М.; 2008.
4. Зинченко ТД, Розенберг ГС. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника). Тольятти: РИО ИЭВБ РАН, 2022.
5. Константинов АС. Общая гидробиология. 4-е изд. М.: Высшая школа; 1986.
6. Труды Фаунистической конференции Зоологи- ческого института 3–8 февраля 1932 г. Секция гидробиологическая. Л.: Изд-во АН СССР, 1934.
7. Узунов Й, Ковачев С. Хидробиология. София; Москва: ПЕНСОФТ, 2002.

Общий список литературы/Reference List

1. Vernadsky V.I. Zhivoye Veschestvo i Biosfera [The Living Matter and the Biosphere]. Moscow: Mysl, 1994. (In Russ.)
2. Vernadsky V.I. [Biosphere and Noosphere]. In: Vibriani Naukovi Pratsi Akademika V. I.

Vernadskogo. T. 4 Kn. 2. [Selected Scientific Works of Academician V.I. Vernadsky] Vol. 4. Book 2. Kiev; 2012. P. 453-465. (In Russ.)

3. Romanenok V.D., ed. Hidrobiologichni Doclidzhennia Kontinentalnikh Vodoym v Natsionalnyi Akademii Nauk Ukraini (do 90-richchia Ukraini. [Hydrobiological Studies of Continental Water Bodies in the National Academy of Sciences of Ukraine (Dedicated to the 90th Anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine)]. Kiev: SPD Moskalenko O.M.; 2008. (In Ukr.)
4. Zinchenko T.D., Rozenberg G.S. Gidrobiologiya 20-kh Godov 20-go Veka (Retrokhronika). [Hydrobiology of the 20ies of the 20th Century (Retrochronicle)]. Togliatti: RIO IEVRB RAS; 2022.
5. Konstantinov A.S. Obschaya Gidrobiologiya [General Hydrobiology]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1986. (In Russ.)
6. Anonimous. Trudy Faunisticheskoy Konferentsii Zoologicheskogo Instituta 3-8 Fevralia. Sektsiya Gidrobiologicheskaya [Proceedings of the Faunistic Conference of the Zoological Institute, February 3–8, 1932. Hydrobiological Section]. Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR; 1934. (In Russ.)
7. Uzunov Y., Kovachev S. Khidrobiologiya [Hydrobiology]. Sofia-Moscow: PENSOFT; 2002. (In Bulg.)

А.Л. Рижинашвили*

РЕТРОСПЕКТИВА И ПЕРСПЕКТИВА

(заметки к перспективам развития современной гидробиологии, намеченным Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенбергом в книге «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника»).
Тольятти: ИЭВБ РАН, 2022)

Замечательный эпиграф-цитата дан авторами во введении к книге: «Чтобы понять какую-либо науку, необходимо знать историю этой науки». Действительно, история науки (и биологии, в частности) часто бывает незаслуженно пренебреженной областью знания. На нее смотрят просто как на набор интересных фактов и деталей биографий ученых. Отчасти в этом бывают повинны сами историки науки, внимание которых далеко не всегда сосредотачивается на анализе развития тех или иных концепций. Между тем, как показывает моя собственная практика (а я одновременно и гидробиолог, и историк гидробиологии), именно последовательное развертывание становления той или иной системы взглядов, так называемая «история идей», может служить базой для решения вопросов современной фундаментальной науки. Тогда история того или иного раздела науки представляется как своего рода континуум представлений и подходов к решению проблемы. Проблемы, поставленные в науке еще в начале XX века, продолжают существовать, однако уже на другом уровне. Ретроспектива авторов как раз служит достаточно убедительным тому доказательством.

Однако в данном эссе мне хотелось бы остановиться не на самом обзоре материалов гидрологических съездов, а на тех выводах, которые сделали авторы, основываясь на их анализе.

Прежде всего, я не могу согласиться с выделенными ими разделами общей гидробиологии. Системная и продукционная «гидробиологии» по определению не могут являться чем-то отдельным. Если отталкиваться от определения гидробиологии как науки о структуре и функционировании водных экосистем (а именно так ее следует рассматривать как экологическую дисциплину), то именно процессы продукции и деструкции и есть основа организации и динамики гидроэкосистем. Никаких особых общих проблем структуры и функционирования водных экосистем не существует. Вопросы подхода к экосистеме как системе должны решаться не в рамках экологии, а в рамках, например, системного анализа. На мой взгляд, также не оправдано деление продукционной гидробиологии на трофологическую и энергетическую. Наиболее яркая иллюстрация моих утверждений – история развития продукционных концепций в XX веке. Р. Линдеман, положивший в 1942 году начало

трофодинамике, как раз и рассматривал функционирование экосистемы в ее динамике (сукцессии) как передачу энергии по пищевой цепи (отсюда и название «трофодинамическое направление»). То есть поток энергии и биологические процессы (питание) являются взаимосвязанными и неотделимыми друг от друга. Трофологию, на мой взгляд, следует рассматривать как направление в гидробиологии, имеющее исключительно историческое значение. Изучение количественных показателей питания находится в русле классических представлений продукционной гидробиологии. Вопросы же качественного своеобразия питания организмов (как пищевые спектры) относятся к компетенции экологии конкретных групп организмов. Трофология не может служить основой продукционной гидробиологии, так как основа продукционных процессов лежит не в питании, а в метаболизме гидробионтов в целом.

Авторы обращают особое внимание на взаимовлияние гидрологии и гидробиологии в первой четверти XX века. Это действительно так. Поэтому на сегодняшний взгляд может показаться удивительным тот факт, что гидробиологические сообщения представляли на гидрологических съездах. Однако объединяющей основой данного взаимопроникновения является не вода, как полагают авторы, а то, что водоем представляет собой сравнительно замкнутый объект, в котором все абиотические и биотические процессы тесно переплетены. В этом отношении стоит вспомнить слова В.И. Жадина (1940) [1] о том, что гидрологические и биологические процессы в водоеме «сливаются». Известная дискуссия 1936–1937 годов о том, куда «девать» гидробиологию – «в гидрологию» или «в экологию», была вызвана отнюдь не только идеологическими соображениями времени, но и объективной трудностью «ведомственного» разделения процессов и объектов в водоеме (см. об этом подробнее [4]). К счастью, со временем спор разрешился в пользу экологической трактовки гидробиологии. На современном уровне развития гидробиологии хорошей иллюстрацией слияния «биологии» и «гидрологии» является состав пула растворенных органических веществ (РОВ). РОВ могут быть результатом как экстрацеллюлярной продукции фитопланктона, так и поступления терригенного гумуса [3], которое регулируется характером водосбора и гидрологическими процессами.

В самом конце книги авторы вслед за А.Н. Камневым намечают «первоочередные задачи современной гидробиологии». В этих задачах почему-то оказались перемешаны проблемы собственно науки и чисто практические

* Рижинашвили Александра Львовна – доктор биологических наук, ИО заведующего сектором истории эволюционной теории и экологии, Санкт-Петербургский филиал Института истории естественных наук и техники им. С.И. Вавилова РАН; railway-ecology@yandex.ru

запросы, как, например, «сохранение и очистка воды», «уточнение и определение квот вылова», «участие в создании законодательной базы», а также «профориентационная и просветительская деятельность», с чем согласиться никак нельзя, ибо конкретные меры и действия не могут являться задачами фундаментальной науки.

Авторы также задаются весьма важным вопросом: «Приоритеты исследования целостности живых систем ушли на второй план, а основными стали исследования, связанные с использованием методов молекулярной биологии. Плохо это или хорошо?» (с. 161). По моему мнению, конечно же, плохо. Редукционизм в биологии начала XX века (я имею в виду физико-химическую биологию) привел, сколь ни странным это может показаться, к крупным холистическим обобщениям, что особенно ярко проявилось именно в гидробиологии. Достаточно вспомнить концепцию биотического баланса Г.Г. Винберга, буквально «выросшую» из физико-химической школы Н.К. Кольцова. Однако век спустя химический (точнее, молекулярный) редукционизм приводит к утрате понимания специфики живого, превращения, например, диагностики видов в рутинную автоматизированную лабораторную процедуру. И вот здесь обращение к истории науки является совершенно необхо-

димым. Только она может убедительно показать, что экология в целом (и гидробиология, в частности) – наука абсолютно «живая», как и другие разделы биологии.

Несомненно, обсуждаемая книга (даже если с некоторыми выводами авторов и нельзя согласиться) содержит ценнейший материал, который дает пищу для серьезных размышлений. Успешное дальнейшее развитие гидробиологии возможно лишь на основе глубокого осознания гидробиологии как «экологической дисциплины биосферного масштаба» (с. 161; см. также [2, 5]). К этому стоит добавить, что такое осознание должно основываться на понимании исторических путей развертывания идей и концепций в гидроэкологии.

В заключение хотелось бы кратко остановиться на тех задачах, которые, по моему мнению, должна решать современная гидробиология. Как мне представляется, необходимо больше внимания уделить системе «фитопланктон – бактерии – РОВ», в частности, с позиций обеспеченности продуцентов биогеенными элементами (причем не только азотом, но и фосфором, а в ряде случаев – углеродом и другими элементами) и происхождения пула РОВ, его молекулярного состава. Без сомнения, здесь заложен надежный путь прогнозирования и управления гидроэкосистемами.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940.
2. Колчинский Э.И. Эволюция биосферы: Историко-критические очерки исследований в СССР. Л.: Наука; 1990.
3. Рижинашвили А.Л. Углеводы в водных экосистемах и их возможная связь с жизнедеятельностью организмов различных трофических уровней. Успехи соврем. биол. 2019;139(1):75-83.
4. Рижинашвили А.Л. Развитие экосистемных представлений в водной экологии (Российская Империя – СССР, первая половина XX века). М.: КМК; 2021.
5. Рижинашвили А.Л. Развитие экосистемных представлений в экологии и продукционные аспекты исследования биосферы. Историко-биологические исследования. 2021;13(1):133-58.

Общий список литературы/Reference List

1. Zhadin V.I. Fauna Rek i Vodokhranilisch. [Fauna of Rivers and Reservoirs]. Moscow-Leningrad; Izdatelstvo AN SSSR; 1940. (In Russ.)

2. Kolchinsky E.I. Evoliutsiya Biosfery: Istoriko-Kriticheskiye Ocherki Issledovaniy v SSSR [Evolution of the Biosphere: Historical and Critical Essays on Research in the USSR]. Leningrad: Nauka; 1990.
3. Rizhinashvili A.L. [Carbohydrates in aquatic ecosystems and their possible relationship with the vital activity of organisms at various trophic levels]. Uspekh Sovremennoy Biologii. 2019;139(1):75-83. (In Russ.)
4. Rizhinashvili A.L. Razvitiye Ekosistemnykh Predstavleniy v Vodnoy Ekologii (Rossiyskaya Imperiya – SSSR, Pervaya Polovina XX Veka [Development of Ecosystem Concepts in Aquatic Ecology (Russian Empire – USSR, the First Half of the 20th Century)]. Moscow: KMK; 2021.
5. Rizhinashvili A.L. [Development of ecosystem concepts in ecology and production aspects of the study of the biosphere]. Istoriko-Biologicheskiye Issledovaniya. 2021;13(1):133-58.

М.И. Гладышев*

К ИСТОКАМ ГИДРОБИОЛОГИИ

О книге: Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника).

**M.I. Gladyshev
TO THE ORIGINS OF HYDROBIOLOGY**

В основу книги положена нестандартная идея – вернуть читателя к истокам отечественной гидробиологии, обеспечив возможность, как это теперь модно и актуально говорить, онлайн-участия в первых гидрологических съездах начала прошлого века. Онлайн-формат присутствия на конференциях и семинарах – современная «ковидная» реальность, и авторы книги с присущим им остроумием удачно применили его ретроспективный вариант.

Пересказ содержания книги, подобный тому, что вынуждены делать официальные оппоненты на защите диссертаций, не является целью данной заметки, поэтому позволю себе сразу перейти к «сверхзадаче» сего произведения в том смысле, как понимал данный термин для театральных произведений К.С. Станиславский. То есть важная задача книги – изложение истории гидробиологии, а «сверхзадача» – обеспечение возможности более глубокого и отчетливого понимания современного состояния этой науки, а также целей и перспектив развития. Именно рассмотрению проблем, стоящих перед современной гидробиологией, и посвящен заключительный раздел этой замечательной книги «Основные направления развития гидробиологии».

Авторы вслед за Г.Г. Винбергом подразделяют гидробиологию на общую и прикладную (частную), подчеркивая очевидную взаимосвязь обоих блоков единой науки. Далее перечисляются основные направления развития гидробиологии в рамках каждого из выделенных двух блоков. С любой подобной классификацией можно поспорить, добавляя или убирая из нее те или иные разделы. Однако важнее не детали классификации, отражающие научный и практический опыт создателей, а ее целевая установка. Авторы книги, продолжая логику своего произведения, то есть отталкиваясь от исторических предпосылок, прогнозируют пути развития современной гидробиологии с целью ее совершенствования. В любой науке так или иначе происходит интуитивное спонтанное развитие по пути проб и ошибок, и тем ценнее попытки придать этому процессу теоретически обоснованное ускорение и целенаправленность.

Авторы совершенно обоснованно и точно выдвигают тезис, который я бы назвал одним из ключевых во всей книге: «Напомним, что основная задача гидробиологии состоит в изучении экологических процессов в гидрос-

фере с целью нахождения путей управления водными экосистемами, при которых польза от проведенных исследований и принятия решений по их эксплуатации соответствовала бы рациональному природопользованию» [с. 124; курсив авторов]. И здесь ни в коем случае нельзя упрекнуть их в излишней «прикладной» направленности понимания гидробиологии как науки.

Действительно, задача любой науки – получение фундаментальных знаний об изучаемых предметах и явлениях. По моему мнению, фундаментальными знаниями об объекте являются лишь такие, которые в конечном итоге позволяют предсказать поведение объекта в любых внешних условиях и управлять им. Возможно, кто-то из людей старой школы заметит в этом высказывании некую аналогию с известным тезисом когда-то непрекаемо авторитетного, а ныне презируемого из конъюнктурных политических соображений философа-марксиста, что критерием истинности философских (то есть научных) суждений является практика. Ну что ж, попытаюсь объяснить свою солидарность с авторами в понимании гидробиологии как именно фундаментальной науки, на следующем простом «прикладном» примере. Предположим, что некому «прикладному» заказчику (предприятие, федеральная организация) захотелось ликвидировать «цветение» воды цианобактериями в подводном водоеме, и он обратился к гидробиологам. Очевидно, чтобы справиться с данной прикладной задачей и убрать из водоема один-единственный вид цианобактерий, например, методом биоманипуляции «top-down», необходим полный набор фундаментальных знаний о целостной экосистеме. Если наши фундаментальные знания об экосистеме являются адекватными, то мы – при наличии соответствующих материальных ресурсов – можем успешно решить поставленную прикладную задачу по управлению состоянием экосистемы (даже если «состояние» понимается заказчиком как биомасса одного лишь вредоносного вида), а заодно и проверим фундаментальность своих знаний и узрим в них пробелы для последующего заполнения. То есть фундаментальная наука может развиваться по своей внутренней логике, но проверка истинности получаемых научных знаний невозможна без их практических приложений.

Авторы книги последовательно развивают центральный тезис о взаимосвязи и взаимозависимости фундаментальной и прикладной гидробиологической науки (забываемый в погоне за «импактовыми» статьями и вы-

* Гладышев Михаил Иванович, докт. биол. наук, чл.-корр. РАН, зав. лаб. экспериментальной гидроэкологии, Институт биофизики СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия; glad@ibp.ru

рачиванием хиршей), упоминая успехи продукционной гидробиологии и аквакультуры в их расширенном понимании, включая работы академика Л.А. Зенкевича по акклиматизации кормовых беспозвоночных в Каспии, а также этологии гидробионтов (в первую очередь – экологические механизмы миграций рыб, открытые школой академика Д.С. Павлова). Рассматриваются и другие выделенные авторами разделы гидробиологии, в частности, санитарной и технической (концепция «техноэкосистемы» проф. А.А. Протасова). Без фундаментальных знаний, полученных плеядой выдающихся российских и советских гидробиологов в рамках вышперечисленных научных направлений, невозможна рациональная эксплуатация и охрана природных вод.

Очень важный раздел в заключительной части книги посвящен обсуждению острейшей научной и практической проблемы, а именно нормированию антропогенной нагрузки через систему предельно допустимых концентраций (ПДК). Установленные еще в СССР (я долго, но тщетно пытался выяснить: кто, когда и на какой научной основе установил их численные значения), ПДК, в том числе – рыбохозяйственные, были и остались одними и теми же для всех природных водных экосистем от Ташкента до Магадана. Мягко говоря, абсурдность подобного нормирования очевидна всем специалистам, но воз и ныне там. Авторы предлагают собственную концепцию региональных нормативов качества природных вод, которая, безусловно, заслуживает внимания и дальнейшего развития.

С.М. Голубков*

ГИДРОБИОЛОГИЯ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА О монографии Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)»

В начале 2022 года издательством РИО ИЭВБ РАН была опубликована монография Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга «Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника)» [11]. Монография совмещает два аспекта: исторический и гносеологический. В первых двух главах авторы на основе обзора гидробиологических докладов участников Первого Всероссийского и Второго Всесоюзного гидрологических съездов, прошедших в 1924 и 1928 годах, знакомят читателей с лидерами отечественной гидробиологии первой трети XX века, а также со сравнительно молодыми в то время гидробиологами и ихтиологами, многие из которых в дальнейшем составили «цвет» российской гидробиологии прошлого века: Л.С. Бергом, В.И. Жадиным, Л.Л. Россолимо, Е.Ф. Гурьяновой и многими другими выдающимися исследователями. В книге приводятся даты жизни докладчиков, даны краткие справки о направлении их исследований, научных достижениях и правительственных наградах. Указано, кто из гидробиологов, участников гидрологических съездов, в дальнейшем пострадал от Сталинских репрессий или умер во время Отечественной войны в блокадном Ленинграде. К сожалению, таких было немало.

Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберг разделили гидробиологические доклады, сделанные на съездах, на следующие тематические направления: теоретическая гидробиология, бактериопланктон, простейшие, фитопланктон, высшая водная растительность, подводные лишайники, зоопланктон, нейстон, бентос, ихтиофауна, доклады, посвященные общему гидробиологическому анализу: реки, озера, моря, инвазии, доклады о деятельности ги-

добиостанций, экспедициях и пр., а также посвященные санитарной гидробиологии. Ими проведено сопоставление между содержанием этих докладов и научными проблемами, решение которых актуально в современный период. Авторы монографии постарались увидеть и проанализировать «истоки» целого ряда гидробиологических представлений. В ряде случаев приводятся краткие обзоры дальнейшего развития идей, высказанных участниками съездов, или современное состояние гидробиологических проблем, на которые указали докладчики. Например, после изложения материалов доклада А.Л. Бенинга о придонной жизни реки Волги, сделанном им на Первом Всероссийском гидрологическом съезде, авторы монографии приводят подробное описание современных данных о таксономическом составе комаров звонцов различных водоемов и водотоков дельты Волги и Северного Каспия, их распределении и динамике таксономического состава и количественных показателей за последние десятилетия.

Третья заключительная глава монографии посвящена обсуждению основных направлений развития современной отечественной гидробиологии. Основное внимание уделено проблемам частной и прикладной гидробиологии. Кроме частной, авторы кратко обсуждают проблемы санитарной, медицинской, токсикологической, радиологической, сельскохозяйственной, рыбохозяйственной, технической (инженерной) и космической гидробиологии, а также задачи и перспективы гидрологического образования в России. Развитие частной гидробиологии, изучение конкретных водоемов и водотоков, по их мнению, должно проводиться на основе системологического принципа множественности моделей,

* Голубков Сергей Михайлович, д.б.н., член-корр. РАН, Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург; golubkov@zin.ru

согласно которому каждый водный объект подлежит изучению. Однако это изучение должно проводиться с позиции ресурсной значимости и государственного регулирования их использования и охраны.

Говоря об исследованиях в рамках санитарной гидробиологии, авторы подчеркивают значимость оценки степени загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям. Они пишут: «Разработанная система санитарно-гидробиологических исследований позволяет оценить степень загрязнения водоемов и водотоков по биологическим показателям, определить процессы, протекающие в водоемах в результате загрязнений, от первой реакции экосистемы на воздействие загрязнений до определенного уровня самоочищения воды. ... Ценность данных, получаемых в результате биологического анализа качества воды, состоит в том, что начинающиеся изменения в структуре и функционировании планктонных и донных сообществ служат сигналом неблагодолучия в состоянии водоема еще до того, как концентрации отдельных химических соединений достигли или превысили уровни предельно допустимых концентраций (ПДК), а общие показатели качества воды соответствуют требованиям «Правил охраны поверхностных вод». По существу, биологические методы дают возможность принять профилактические меры по охране водоемов» [11, с. 132-133].

Тем не менее, проблемы загрязнения окружающей среды водоемов авторы относят не к санитарной гидробиологии, а к водной токсикологии. В нее, помимо проблемы загрязнения водоемов токсическими веществами, они включают разработку биологических основ водоснабжения и очистки сточных вод, разработку мер борьбы с «цветением» и зарастанием водоемов [11, с. 134], то есть проблемы их эвтрофирования. При таком расширенном понимании не вполне понятно, чем это направление в гидробиологии отличается от санитарной гидробиологии, так как в обоих случаях речь идет как о качестве вод, так и об экологическом нормировании. Во избежание путаницы к водной токсикологии все-таки лучше относить задачи, связанные с изучением реакции гидробионтов и экосистем на загрязнение водоемов токсическими веществами, тем более что загрязнение такими веществами может приводить к деэвтрофированию водоемов, а реакция биоты на токсические загрязнения в олиготрофных водах часто более значима, чем в эвтрофных. Кроме того, в последние десятилетия все большее значение придается так называемому «биологическому загрязнению», под которым понимается вселение и развитие популяций чужеродных видов [22], которые могут оказывать самое разное влияние на экосистемы водоемов. Поэтому важно не смешивать разные типы загрязнений, изучение влияния которых можно объединять в рамках одного направления, изучающего антропогенные воздействия на водные экосистемы. При этом к водной токсикологии лучше относить воздействие именно токсических веществ.

По мнению Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга одной из главных причин нарушения нормального функционирования водных экосистем и ухудшения качества вод является несовершенство системы нормирования антропогенной нагрузки. В частности, то, что в качестве критериев нормирования применяются одинаковые для всей территории России предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования природных вод. Взамен существующей, ими выдвигается концепция регионального экологического нормирования, которая предполагает разработку и внедрение региональных ПДК загрязняющих веществ. При этом в качестве элементов природопользования необходимо рассматривать все виды хозяйственной деятельности, что предполагает проведение инвентаризации и паспортизации водных объектов. Очевидно, что предлагаемый ими подход позволит значительно повысить эффективность природоохранной деятельности.

Авторы также обращают внимание на проблему «критической нагрузки» на экосистемы водоемов особенно в связи с хроническими (отложенными) последствиями загрязнения сравнительно небольшими дозами токсичных веществ, влияние которых на экосистему может проявиться только через значительный промежуток времени. Такую нагрузку трудно диагностировать обычными методами, так как не всегда понятно, какими антропогенными или естественными факторами вызвана та или иная структура биологических сообществ. На мой взгляд, определенным решением этой трудной проблемы может быть применение биомаркеров, под которыми понимаются изменения в физиологии или морфологии гидробионтов, наличие которых может свидетельствовать о воздействии ядовитых веществ на биоту водоема. Важным критерием надежности биомаркеров служит их функциональность. Наблюдаемые изменения в организме должны иметь очевидные отрицательные последствия для жизнедеятельности водных животных, выживания или успеха размножения [13, 20].

Большой раздел главы 3 посвящен технической (инженерной) гидробиологии. Подчеркивается, что «современные глобальные экологические проблемы являются результатом столкновения между техносферой и ноосферой, с одной стороны, и биосферой – с другой; причем в этом столкновении техносфера играет активно-агрессивную роль» [11, с. 146].

При обсуждении перспектив космической гидробиологии совершенно справедливо отмечено, что эффективное управление водными ресурсами невозможно без наличия достоверной и оперативной информации, большие объемы которой можно получить при исследовании Земли из Космоса. При этом авторы вслед за К.С. Ткаченко считают, что аэрокосмическая съемка наиболее задействована в картировании и многолетнем мониторинге ландшафтно-бентосных комплексов в верхней части морского

шельфа. Последнее не совсем верно. В гидробиологии космическое зондирование в первую очередь применяется для оценки и мониторинга первичной продуктивности вод Мирового океана. Более того, только благодаря использованию сканеров цвета, установленных на спутниках, появились принципиальные возможности определения площадей, занятых водами разной продуктивности с учетом их сезонной изменчивости и пространственной неоднородности, и определения глобальной первичной продукции океанических вод, так как оценки концентрации хлорофилла и первичной продукции, сделанные ранее в ходе рейсов НИС, были слишком фрагментированы в пространстве и во времени [7]. Тем не менее, следует согласиться с авторами монографии, что работы в этом направлении следует продолжать, подкрепляя их натурными наблюдениями для более эффективной интерпретации получаемых снимков.

Рассматривая направления развития общей (фундаментальной) гидробиологии, авторы последовательно обсуждают проблемы и задачи системной, продукционной, трофологической и энергетической гидробиологии. Следует отметить, что такое деление фундаментальной гидробиологии в настоящее время носит условный характер и в основном отражает направления развития на ранних этапах ее становления как науки. Например, основой современной продукционной гидробиологии является энергетический принцип изучения трофических связей в экологических системах [2]. При этом важным инструментом исследования трофодинамики водных экосистем является балансный подход, при котором энергия разнообразной пищи, потребляемой особью, популяцией или трофическим уровнем (их рацион), является входным параметром балансового равенства, в которое также входят затраты энергии на метаболизм и продукцию. Для оценки рациона животных применяются разнообразные методы исследования, в том числе разные параметры и индексы избирательности питания (см., например, [12, 17, 18]). С другой стороны, еще Г.Г. Винберг в своей монографии 1956 года «Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб» убедительно показал, что изучение питания животных следует проводить с учетом их пищевых потребностей, то есть затрат энергии на метаболизм и продукцию [6]. В дальнейшем балансный подход и энергетический принцип при изучении питания животных были использованы в работах целого ряда известных гидробиологов [1, 17, 18]. В свою очередь В.Е. Заика [9, 10] предложил изучать продукцию водных животных с учетом их рациона при разных условиях питания. Более того, изучения продукции гидробионтов необходимо проводить, руководствуясь энергетическим принципом изучения трофических связей: с учетом энергоемкости (калорийности) тканей гидробионтов, концентрации и качества пищи и т. д. [2, 6, 17]. Для этого необходимы данные о спектрах питания разных видов гидробионтов. Таким образом, в настоящее время нет оснований выделять в отдельные направления трофо-

логическую, продукционную и энергетическую гидробиологию, поскольку их методы и представления дополняют друг друга и широко используются в рамках общего трофодинамического направления в водной экологии.

Для того чтобы определить, какой трофический уровень(и) занимает тот или иной вид гидробионтов, а также как и на каких трофических уровнях в экосистеме используется органическое вещество, создаваемое гидробионтами или поступающее в водоем с водосбора, в последние десятилетия стали широко использоваться методы анализа содержания стабильных изотопов в теле гидробионтов и биохимические маркеры органического вещества разного происхождения (например, [19, 21, 24, 26, 29]). Такие методы значительно облегчают анализ пищевых цепей в экосистемах. Тем не менее, исследования пищевых предпочтений водных животных, выполненные с применением «классических методов», продолжают быть востребованы (например, [25]). С учетом всего этого, скорее можно говорить, что продукционная гидробиология с применением новых инструментальных методов постепенно выходит на более высокий методический уровень, чем применять морально устаревший термин «трофологическая гидробиология». В то же время, важно согласиться с мнением Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга, что применение этих методов является продуктивным подходом при изучении спектров питания планктонных и бентосных беспозвоночных.

Говоря о системной гидробиологии, авторы монографии вслед за А.Ф. Алимовым выделяют три этапа развития науки: этап накопления эмпирического знания (описательный, инвентаризационный), концептуально-теоретический (формирование списка понятий науки, выдвижение гипотез о структуре и механизмах функционирования описываемых систем) и третий этап, на котором проводится формализация этих представлений на языке математики в рамках системного подхода. По их мнению, гидробиология находится на втором этапе развития, а третий этап только начинается. Давая такую осторожную оценку, авторы монографии излишне консервативны. Системный характер гидробиология приобрела еще в 30–40-х годах прошлого века, когда сформировалось трофодинамическое направление в гидробиологии и экологии, в рамках которого водоемы и водотоки рассматриваются как системы, функционирующие согласно законам термодинамики. Применение энергетического принципа в изучении трофодинамических связей в экосистемах позволило предсказывать количественное развитие популяций разных видов в зависимости от трофического уровня, который они занимают. Важным этапом дальнейшего развития этого направления было накопление количественных знаний о продукционных возможностях различных групп животных (например, [1, 3, 8]). Все это позволило формализовать представления о продукционном процессе на языке математики (третий этап развития науки) и успешно моделировать реакцию водных

экологических систем, включая экосистемы крупнейших озер, морей и океанов, на действие разнообразных факторов [14, 15, 27]. О зрелости гидробиологии как науки также свидетельствует более десятка научных концепций, на две из которых (концепции речного континуума и экологической ниши) ссылаются авторы монографии. С остальными можно познакомиться в ряде других обзорных монографий [2, 4, 16]. Следовательно, в настоящее время гидробиологию можно считать вполне зрелой наукой, способной решать достаточно сложные практические задачи [28]. Осторожные оценки Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга в отношении этапа развития гидробиологии, по-видимому, во многом связаны с организационными трудностями в отечественной академической и вузовской науке, недофинансированием и постоянными поисками новых организационных форм, начавшиеся в 1990-х годах и не прекращающиеся до сих пор, о чем они также пишут в заключительной третьей главе.

Заканчивая свои размышления о путях развития гидробиологии, авторы монографии подчеркивают, что процесс ее развития будет продолжаться, и «это в теоретическом плане потребует разработки (переложения, «перевода») еще 12 основных экологических концепций» [11, с. 153], которые в основном разрабатывались в рамках экологии наземных сообществ и пока мало используются в гидробиологии. Они отмечают, что перед гидроэкологической наукой стоит чрезвычайно сложная задача прове-

дения исследований по разработке научно-обоснованных критериев состояния пресноводных и морских экосистем под воздействием различных факторов антропогенного происхождения, экологических процессов в гидросфере в интересах взаимодействия человеческого общества с водными экосистемами. К первоочередным задачам современной гидробиологии они также относят оценку влияния климатических изменений на водные экологические системы, что безусловно верно (см., например, [23]).

В целом монография Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга представляет значительный интерес как для специалистов, гидробиологов и историков науки, так и для широкого круга читателей, интересующихся вопросами водной экологии и охраны окружающей среды. Монография в краткой форме знакомит читателей со многими учеными первой половины XX века, а также с видными гидробиологами наших дней. Убедительно продемонстрирована преемственность поколений отечественных гидробиологов. Авторам удалось на основе содержания гидробиологических докладов, сделанных на двух гидрологических съездах, проходивших в 20-х годах прошлого века, познакомить современных читателей с актуальными проблемами отечественной гидробиологии того времени, показать их связь с современными научными направлениями в этой области науки и на основе их анализа обсудить актуальные направления будущих гидробиологических исследований.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алимов АФ. Функциональная экология пресноводных двусторчатых моллюсков. Л.: Наука; 1981.
2. Алимов АФ, Богатов ВВ, Голубков СМ. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука; 2013.
3. Балушкина ЕВ. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Л.: Наука; 1987.
4. Богатов ВВ, Федоровский АС. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука; 2017.
5. Винберг ГГ. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорус. ун-т; 1956.
6. Винберг ГГ. Взаимозависимость роста и энергетического обмена у пойкилотермных животных. В кн.: Количественные аспекты роста организмов. М.: Наука; 1975. С. 7-25.
7. Виноградов МЕ. Биологическая продуктивность океанических экосистем. В кн.: Новые идеи в океанологии. Т. 1. Физика, химия, биология. М.: Наука; 2004. С. 237-63.
8. Голубков СМ. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых. СПб.: Зоол. ин-т РАН; 2000.
9. Заика ВЕ. Удельная продукция водных беспозвоночных. Киев: Наукова Думка; 1972.
10. Заика ВЕ. Сравнительная продуктивность гидробионтов. Киев: Наукова Думка; 1983.
11. Зинченко ТД, Розенберг ГС. Гидробиология 20-х годов XX века (ретрохроника). Тольятти: РИО ИЭВБ РАН; 2022.
12. Ивлев ВС. Экспериментальная экология питания рыб. М.: Пищепромиздат; 1955.
13. Макрушин АВ, Голубков СМ, Асанова ТА, Богомазова МВ. Состояние пищеварительной железы Unionidae (Mollusca, Bivalvia) – показатель степени антропогенного загрязнения акватории. Гидробиол. журн. 2011;47(2):51-4.
14. Меншуткин ВВ. Имитационное моделирование водных экологических систем. СПб.: Наука; 1993.
15. Меншуткин ВВ. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск; 2010.

16. Протасов АА. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академперіодика; 2011.
17. Сушеня ЛМ. Количественные закономерности питания ракообразных. Минск: Наука и техника; 1975.
18. Шульман ГЕ, Урденко СЮ. Продуктивность рыб Черного моря. Киев: Наукова думка; 1989.

Общий список литературы/Reference List

1. Alimov AF. Funktsionalnaya Ekologiya Presnovodnykh Dvustvorchatykh Molliuskov [Functional Ecology of Freshwater Bivalves]. Leningrad: Nauka; 1981. (In Russ.)
2. Alimov AF, Bogatov VV, Golubkov SM. Produksionnaya Gidrobiologiya [Production Hydrobiology]. Saint Petersburg: Nauka; 2013. (In Russ.)
3. Balushkina YeV. Funktsionalnoye Znachenіye Lichinok Khirominid v Kontontentalnykh Vodoyemakh [Functional Significance of Chironomid Larvae in Continental Water Bodies]. Leningrad: Nauka; 1987. (In Russ.)
4. Bogatov VV, Fedorovskiy AS. Osnovy Rechnoy Gidrologii i Gidrobiologii [Basics of River Hydrology and Hydrobiology]. Vladivostok: Dalnauka; 2017. (In Russ.)
5. Winberg GG. Intensivnost Obmena i Pischevye Potrebnosti Ryb [Rate of Metabolism and Food Requirements of Fishes]. Minsk: Belorussian State University; 1956. (In Russ.)
6. Winberg GG. [Interdependence of growth and energy metabolism in poikilothermic animals]. In: Zotin AI, Grudnitskiy VA, Klevezal GA, eds. Kolichestvennyye Aspekty Rosta Oorganizmov. Moscow: Nauka; 1975. P. 7–25. (In Russ.)
7. Vinogradov ME. [Biological productivity of oceanic ecosystems]. In: Vinogradov ME, Lappo CC, eds. Novye Idei v Okeanologii. T. 1. Fizika, Khimiya, Biologiya [New Ideas in Oceanology. Vol. 1. Physics, Chemistry, and Biology. Moscow: Nauka; 2004. P. 237-63. (In Russ.)
8. Golubkov SM. Funktsionalnaya Ekologiya Lichonok Amfibioteskikh Nasekomykh. [Functional Ecology of Aquatic Insect Larvae]. Saint Petersburg: ZIN RAN; 2000. (In Russ.)
9. Zaika VYe. Udelnaya Produktsiya Vodnykh Bespozvonochnykh [Specific Productivity of Aquatic Invertebrates]. Kyiv: Naukova Dumka; 1972. (In Russ.)
10. Zaika VYe. Sravnitsalnaya Produktivnost Gidrobiontov. [Comparative Productivity of Hydrobionts]. Kyiv: Naukova Dumka; 1983. (In Russ.)
11. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Gidrobiologiya 20-kh Godov XX Veka (Retrokhronika). Tolyatti: RIO IEVB RAN; 2022. (In Russ.)
12. Ivlev VS. Eksperimentalnaya Ekologiya Pitaniya Ryb. Moscow: Pishchepromizdat; 1955. (In Russ.)
13. Makrushin AV, Golubkov SM, Asanova TA, Bogomazova MV. [The state of the digestive gland of Unionidae (Mollusca, Bivalvia) as an indicator of the degree of anthropogenic pollution of water basin]. Gidrobiologicheskii Zhurnal. 2011;47(2):51-4. (In Russ.)
14. Menshutkin VV. Imitatsionnoye Modelirovaniye Vodnykh Ekologichaskikh Sistem [Simulational Modeling of Aquatic Ecological Systems]. Saint Petersburg: Nauka; 1993. (In Russ.)
15. Menshutkin VV. Iskustvo Modelirovaniya (Ekologiya, Fiziologiya, Evoliutsiya) [The Art of Modeling (Ecology, Physiology, and Evolution)]. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tsentr RAN; 2010. (In Russ.)
16. Protasov AA. Zhizn v Gidrosfere. Ocherki po Obshchey Gidrobiologii. Kiev: Akadempriodika; 2011. (In Russ.)
17. Sushchenya LM. Kolichestvennyye Zakonomernosti Pitaniya Rakoobraznyh. Minsk: Nauka i Tekhnika; 1975. (In Russ.)
18. Shulman GYe, Urdenko SYu. Produktivnost Ryb Chernogo Moria. Kiev: Naukova Dumka; 1989. (In Russ.)
19. Bogatov VV, Sushchik NN, Makhutova ON, Kolmakova AA, Gladyshev MI. Allochthonous and autochthonous food sources for zoobenthos in a forest stream. Russ J Ecol. 2021; 52(3):253-6.
20. Broeg K, Westernhagen HV, Zander S, Körting W, Koehler A. The "Bioeffect Assessment Index" – A concept for the quantification of effects of marine pollution by an integrated biomarker approach. Mar Pollut Bull. 2005;50(5):495-503.
21. Dgebuadze YuYu, Gladyshev MI. Biotic fluxes of matter and energy between aquatic and terrestrial ecosystems. Contemp Probl Ecol. 2016;9(4):391-5.
22. Elliott M. Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern. Mar Pollut Bull. 2003;46:275-80.
23. Golubkov SM. Effect of climatic fluctuations on the structure and functioning of ecosystems of continental water bodies. Contemp Probl Ecol. 2021;14(1):1-10.
24. Golubkov S, Golubkov M, Tiunov A. Anthropogenic carbon as a basal resource in the benthic food webs in the Neva Estuary (Baltic Sea). Mar Pollut Bull. 2019;146:190-200.
25. Golubkov SM, Kotelnikova VS, Pozdeev IV. Abundance and feeding mode of Russian spiralin, *Alburnoides rossicus*, in the rhithral and potamal of Eastern European Rivers. Environ Biol Fish. 2022. DOI: 10.1007/s10641-022-01292-y
26. Golubkov S, Tiunov A, Golubkov M. Food-web modification in the eastern Gulf of Finland after invasion of *Marenzelleria arctica* (Spionidae, Polychaeta). NeoBiota. 2021;66:75-94

27. Håkanson L, Boulion VV. The Lake Foodweb – Modeling Predation and Abiotic/Biotic Interactions. Leiden: Backhuys Publishers; 2002.
28. O’Sullivan PE, Reynolds CS (eds.). The Lake Handbook. Volume 2. Lake Restoration and Rehabilitation. Oxford: Blackwell Publishing; 2005.
29. Zinchenko TD, GladyshevMI, Makhutova ON, Sushchik NN, Kalachova GS, Golovatyuk LV. Saline rivers provide arid landscapes with a considerable amount of biochemically valuable production of chironomid (Diptera) larvae. Hydrobiologia. 2014;722(1):115-28.



АКАДЕМИК ЛЕОН АБГАРОВИЧ ОРБЕЛИ — УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ, ЧЕЛОВЕК (к 140-летию со дня рождения)

Е.В. Розенгарт, Г.А. Оганесян, Н.Е. Басова*

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: basovnat@mail.ru

В июле 2022 года исполнилось 140 лет со дня рождения основателя Института эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова Российской академии наук, академика Леона Абгаровича Орбели - удивительно разностороннего человека, теоретика и практика науки, создателя эволюционной физиологии как самостоятельной науки. В статье приводятся основные вехи его биографии, воспоминания сотрудников, лично знавших его.

Ключевые слова: Леон Абгарович Орбели, эволюционная физиология.

ACADEMICIAN LEON ORBELI – SCIENTIST, TEACHER, PERSONALITY (to the 140th anniversary of his birth)

Ye.V. Rozengart, G.A. Oganesyanyan, N.Ye. Basova#

Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, Russia

Email: basovnat@mail.ru

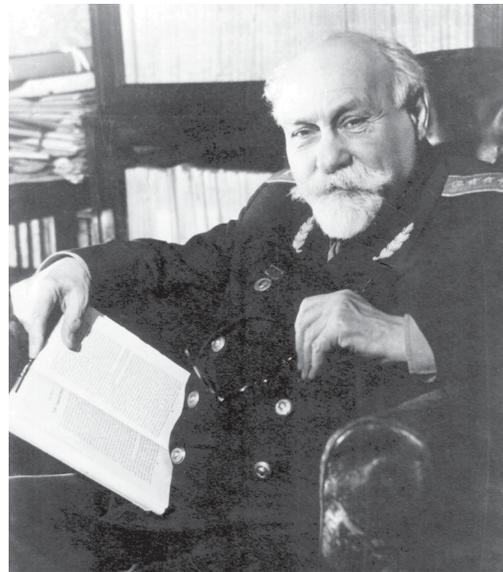
July 2022 is the day of the 140th anniversary of the birth of Academician Leon Abgarovich Orbeli, the founder of Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences. L.A. Orbeli was an amazingly versatile person, theorist and practitioner of science, and the creator of evolutionary physiology as a scientific discipline. The present article reviews the milestones of his biography and includes the memories of those who knew him in person.

Keywords: Leon Abgarovich Orbeli, evolutionary physiology.

7 июля 2022 года исполнилось 140 лет со дня рождения академика Леона Абгаровича Орбели выдающегося отечественного физиолога, основателя Института эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова Российской академии наук, удивительно разностороннего человека.

Леон Абгарович Орбели – Ученый, Учитель, человек планетарного масштаба, действительный член Академии наук СССР, действительный член Академии медицинских наук СССР и Академии наук Армянской ССР, Герой Социалистического Труда, заслуженный деятель науки РСФСР, лауреат Государственной премии СССР, генерал-полковник медицинской службы.

Он родился 7 июля 1882 года в Армении в чудесном местечке Цахкадзор, в семье известного судебного деятеля Закавказья – Абгара Иосифовича Орбели. Таланты у братьев Орбели – Рубена, Леона и Иосифа – были заложены в семье с древними традициями. Отец, Абгар Иосифович Орбели, окончил юридический факультет Петербургского университета, а дядя, Давид Иосифович Орбели, был известным в Тифлисе



Леон Абгарович Орбели

психиатром и невропатологом. Мать ученых – Варвара Мовсесовна – принадлежала к знаменитому княжескому роду Аргутинских-Долгоруких. Дед – Иосиф Иоакимович Орбели – был воспитанником знаменитого Лазаревского института восточных языков в Москве [1].

Усилия семьи были направлены на то, чтобы привить сыновьям любовь к науке. Рубен и Иосиф поступили в Петербургский университет, а Леон – в Военно-медицинскую академию. Абгар Иосифович Орбели в своих письмах напутствовал сыновей: «Я душевно рад вашим успехам и хотел бы, чтобы с таким же успехом продолжали и не сошли с избранного пути, непреклонным шагом вступили в жизнь как крупные личности». Варвара Мовсесовна в свою очередь писала: «Старайтесь и в будущем... быть моею гордостью до конца моей жизни, но и после моей смерти, чтоб имя мое всегда упоминалось с хорошей стороны, так все своим хорошим именем возвысите мое имя еще больше того, чем я ношу теперь» [2]. Сыновья исполнили мечту отца: Рубен стал одним из основателей подводной археологии, младший сын Иосиф – выдающимся востоковедом, археологом, историком искусств, директором Государственного Эрмитажа, основателем и первым президентом Академии наук Армении.



Леон Орбели – выпускник Военно-медицинской академии

Леон Орбели учился в Военно-медицинской академии в Петербурге. Его учителями были классики науки: анатом А.И. Таренецкий, гистолог М.Д. Лавдовский, зоолог Н.А. Холодковский (известный как переводчик «Фауста»). Учителем и другом на всю жизнь стал Иван Петрович Павлов. В лаборатории И.П. Павлова он выполнил первое экспериментальное исследование «Сравнение работы пепсиновых желез до и после перерезки ветвей блуждающих нервов» (1903), удостоенное Золотой медали Конференцией академии. С Военно-медицинской академией были связаны больше полувека жизни Орбели. Здесь он вырос от студента до ее начальника [3].



Л.А. Орбели и И.П. Павлов, 1935 год

В 1931 году Л.А. Орбели был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1934-м по совокупности работ ему присуждена ученая степень доктора медицинских наук, а в 1935 году он становится действительным членом АН СССР. В 1936 году, после кончины И.П. Павлова, Л.А. Орбели был назначен директором Физиологического института им. И.П. Павлова, в 1939 году становится директором Института эволюционной физиологии и патологии высшей нервной деятельности им. акад. И.П. Павлова. С 1943 по 1950 год Л.А. Орбели был начальником Военно-медицинской академии. В 1943 году он был награжден орденом Красной Звезды. В 1944 году во время организации АМН СССР Л.А. Орбели становится академиком АМН СССР, в том же году получает звание генерал-полковника медицинской службы. В 1945 году Л.А. Орбели было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот» [3].

Но ничто не спасло Леона Абгаровича от тяжелейших испытаний в 1950 году. Тогда над ним сгустились тучи в связи с ростом влияния сторонников Т.Д. Лысенко, борцов с «формальной» генетикой. В то время Орбели как академик-секретарь Отделения биологических наук АН СССР отвечал за развитие всех направлений биологии в институтах академии [4].

Уже с первого дня Павловской сессии стало ясно, что готовится разгром нескольких научных физиологических школ, прежде всего школы Орбели. 4 июля 1950 года на десятом заседании объединенной научной сессии Академии наук СССР и Академии медицинских наук СССР было принято постановление, в котором отмечалось: «...В ходе сессии с полной ясностью установлено, что академик Л.А. Орбели и группа его ближайших учеников... пошли по неправильному пути, сбивали исследователей и нанесли ущерб развитию учения И.П. Павлова» [5]. Через две недели после принятия этого постановления Орбели получил правительственную телеграмму об освобождении его от должности директора Физиологического института имени И.П. Павлова АН СССР и от должности директора Института эволюционной физиологии и патологии высшей нервной деятельности АМН СССР. Сняли его и с должности начальника Военно-медицинской академии и освободили от обязанностей главного редактора «Физиологического журнала СССР имени И.М. Сеченова». Ближайшие ученики Орбели вскоре также лишились работы [4].

Но это стало лишь началом гонений. После объединенной сессии двух академий был создан Научный совет по проблемам физиологического учения академика И.П. Павлова, подчиненный Президиуму АН СССР, во главе его поставили академика К.М. Быкова. И даже теперь, спустя много лет, нельзя без душевной боли читать стенограммы заседаний этого совета. На них Орбели неоднократно подвергали унижению, над ним просто издевались, нравственно изматывали его [4]. И как не вспомнить здесь снова наставления отца А.И. Орбели, которые он пророчески и мудро писал в своих письмах к сыновьям: «Жизнь настолько стала тяжелой, что скрутит, растопчет и уничтожит кого угодно, а тем более вас с вашими еще не окрепшими силами... Очень хотелось бы, чтобы вы до конца остались на высоте и не дали повода недоброжелателям...» [2]. Все три брата выполнили в полной мере наказ родителей, ни одним своим поступком они не предали то дело чести, которому были верны всю жизнь. Порядочность, честность, благородство и беззаветное служение науке – вот то, что всегда отличало братьев Орбели.

В итоге Л.А. Орбели была оставлена лишь возможность работать в Государственном естественнонаучном институте им. П.Ф. Лесгафта, в который он пришел в 1918 году.

Вскоре Президиум АН СССР создает группу для индивидуальной работы акад. Л.А. Орбели, в ее состав вошли 8 его учеников. Только в 1954 году на основе этой группы формируется Лаборатория эволюционной физиологии АН СССР, в 1956-м она преобразуется в Институт эволюционной физиологии им. И.М. Сеченова АН СССР, и Орбели становится его первым директором [6].



Л.А. Орбели с сотрудниками Государственного естественнонаучного института им. П.Ф. Лесгафта

Среди восьми обладателей высшего военно-медицинского звания – генерала-полковника медицинской службы СССР (Н.Н. Бурденко, А.А. Вишневецкий, П.П. Гончаров, Н.Г. Иванов, Ф.И. Комаров, Д.Д. Кувшинский, Л.А. Орбели, Е.И. Смирнов) – только Орбели был ученым мирового уровня, создателем нового научного направления – эволюционной физиологии. Проблема эволюции функций стала одной из центральных в научном творчестве Л.А. Орбели. Он сформулировал основные задачи и методы эволюционной физиологии и ввел в практику эволюционной физиологии еще один метод – искусственного создания разобщенности отдельных органов и тканей от управляющих ими механизмов, разобщение отдельных, более низких уровней от уровней более высоких. Вот как об этом говорит ученик Л.А. Орбели академик Ю.В. Наточин: «Л.А. Орбели рассматривал эволюционную физиологию не как самостоятельную науку, а “как новый, современный этап развития физиологии, потому что не может эволюционная физиология строиться в отрыве от всей остальной физиологии. Она должна максимально использовать весь тот богатый материал, который создан как классической, медицинской физиологией, так и общей физиологией...” Эволюционная физиология являет пример живой, развивающейся ветви физиологии» [7].

Большое внимание Л.А. Орбели уделял выяснению механизмов болевых ощущений, проблемам боли. В трудах Л.А. Орбели глубоко анализируются физиологические основы бреда, психопатологии, патогенез неврозов.

Особенно много Л.А. Орбели сделал для развития физиологии вегетативной нервной системы. Ценный вклад в разработку проблем адаптивно-трофической функции симпатической нервной системы внесли его эксперименты, проведенные совместно с А.Г. Гинецинским и получившие название «феномена Орбели-Гинецинского».

Под руководством Л.А. Орбели проводились работы по изучению функциональных особенностей нервно-мышечного аппарата насекомых в онто- и филогенезе.

Л.А. Орбели организует первую Лабораторию возрастной физиологии. Перед лабораторией, в организации которой непосредственное участие принимал соратник Леона Абгаровича Л.Г. Лейбсон, была поставлена задача изучить физиологические особенности детей разного возраста, а также провести комплекс экспериментальных исследований по изучению онтогенеза физиологических функций.

Значителен вклад Л.А. Орбели в разработку проблем физиологии почки. В разное время в этих исследованиях принимали участие выдающиеся ученики и последователи Л.А. Орбели – А.Г. Гинецинский и Ю.В. Наточин.

Леон Абгарович был не только теоретик, но и настоящий практик науки. Удивительным образом он предвидел и развивал крайне востребованные впоследствии направления физиологии и медицины.

Во время Отечественной войны Л.А. Орбели, возглавлявший Военно-санитарную комиссию, активно занимался важной практической задачей – изучением воздействия боевых отравляющих веществ на организм человека. Совместно с А.Г. Гинецинским они исследовали фосфорорганические отравляющие вещества и впервые пришли к заключению, что при их действии на организм наблюдается типичная картина полного торможения фермента ацетилхолинэстеразы.

Значение трудов Л.А. Орбели и его школы для военной медицины неопределимо. Он много сделал на посту начальника кафедры физиологии, а затем начальника Военно-медицинской академии для разработки научных основ современной медицины, в первую очередь военной медицины. Важным результатом многолетних научно-прикладных исследований Л. А. Орбели, его сотрудников и учеников стало формирование нового научного направления – физиологии экстремальных состояний [3].

Круг проблем экстремальной физиологии и медицины, которые разрабатывались академиком Л.А. Орбели и его сотрудниками, включал вопросы подводной (гипербарической) физиологии и медицины, медицинского обеспечения полетов человека в стратосферу, авиационной физиологии, экологической физиологии и гипоксии, физиологии военного труда, радиобиологии и космической физиологии [8].

Трудами Л.А. Орбели и его школы были заложены основы физиологии адаптации человека к условиям жизни и работы при пониженном барометрическом давлении и гипербарии. Л.А. Орбели с большим интересом откликнулся на создание в нашей стране в 1923 году «Экспедиции подводных работ особого назначения» (ЭПРОН). По его инициативе в 1930 году на кафедре физиологии ВМА были развернуты исследо-

вания по решению основных теоретических и практических вопросов обеспечения подводных работ. Практические задачи исследований состояли в том, чтобы добиться увеличения глубины погружения и увеличения времени пребывания под водой, уменьшения времени подъема водолазов и при этом обеспечить их безопасность, здоровье и работоспособность. Л.А. Орбели взял на себя руководство проводимыми работами, а в 1931 году вошел в состав Научно-технического совета ЭПРОНа и возглавил Постоянную комиссию по аварийно-спасательному делу, которая внесла значительный вклад в решение фундаментальных и прикладных проблем освоения человеком морских глубин. В состав Комиссии вошли сотрудники кафедры физиологии ВМА Е.М. Крепс, М.П. Бресткин.

В 1936 году Л.А. Орбели и М.П. Бресткину удалось создать при кафедре физиологии специальную баролабораторию, полностью обеспечивающую экспериментальную работу других кафедр. Именно с этого момента ряд кафедр (факультетская терапия, патофизиология, биохимия, физиология, клиника нервных болезней и др.) включаются в разработку новой, сложной и чрезвычайно актуальной проблемы – проблемы кислородного голодания. В годы Великой Отечественной войны М.П. Бресткин становится заместителем Л.А. Орбели на посту начальника кафедры (1943), одновременно развертывает и возглавляет лабораторию авиационной медицины [9].

Под руководством Л.А. Орбели были проведены систематические исследования, которые позволили обеспечивать безопасность глубоководных спусков водолазов.

Л.А. Орбели стоял у истоков создания высокоэффективного метода длительного пребывания под повышенным давлением, который получил название «метод сатурационных (насыщенных) погружений». В 1949 году Постоянная комиссия по аварийно-спасательному делу



Участники рекордного погружения в море на 200 метров на спасательном судне «Алтай» (1946 год). Стоят слева направо: Е.М. Крепс, Л.Л. Орбели, К.А. Павловский [8]

АН СССР под руководством Л.А. Орбели и М.П. Бресткина приступила к изучению возможности продолжительного пребывания подводников под повышенным давлением. В дальнейшем этот метод получил широкое распространение при проведении глубоководных спусков в нашей стране и за рубежом [8].

Суммируя основные результаты работ Л.А. Орбели и его школы в области гипербарической физиологии и водолазной медицины, необходимо отметить следующие научные и прикладные достижения:

- создана концепция патогенеза кессонной болезни;
- доказана прямая зависимость возникновения глубинного наркоза от парциального давления азота и определена безопасная глубина водолазных спусков на сжатом воздухе;
- установлено, что замена азота в дыхательной смеси другими инертными газами увеличивает глубину погружения;
- изучено токсическое действие повышенного содержания кислорода;
- впервые в мире реализована идея применения кислородно-гелиевых газовых смесей;
- разработаны безопасные режимы спуска и подъема водолазов;
- разработан ряд индивидуальных спасательных кислородных приборов для подъема людей из затонувших подводных лодок.

Л.А. Орбели был инициатором физиологических исследований реакции организма человека на действие факторов полета в стратосферу [8]. Опыт работ Л.А. Орбели и его сотрудников по гипербарической и высотной физиологии оказался исключительно важным и востребованным для исследований в области авиационной медицины. Вместе с коллективом сотрудников, в число которых входили М.П. Бресткин, Н.В. Зимкин, А.В. Лебединский, В.В. Стрельцов, он занимался изучением действия на человека больших ускорений, гипоксии, ультрафиолетовых и космических лучей. Эти работы обеспечили успех в осуществлении пилотируемых полетов на стратостатах, разработке основ авиационной и космической медицины.

Спектр исследований в области авиационной физиологии и медицины, выполненных под руководством Л.А. Орбели, был исключительно широким и включал:

- исследования адаптации к гипоксии и способы повышения устойчивости организма;
- физиологическое обоснование высотных полетов;
- исследование эффективности тренировки летчиков к высоте в барокамере;
- изучение влияния на организм человека быстрой декомпрессии;
- исследования влияния на организм перегрузок;
- защиту от перегрузок при катапультировании;
- проблемы психофизиологии труда лиц летного состава.

Первый врач-космонавт Б.Б. Егоров в своем выступлении в 1964 году на Красной площади после завершения космического полета назвал Л.А. Орбели основоположником космической медицины: «Работы Орбели, Стрельцова, Разенкова, Миролубова, Воячка и других советских ученых способствовали успешному развитию авиационной, а затем и космической медицины, расчищая путь для первого прыжка человека к звездам» [10].

Под руководством Л.А. Орбели проводились широкомасштабные исследования физиологической реакции человека и животных на радиацию, признаки и механизмы лучевой болезни. В 1950 году на конференции в ВМА Л.А. Орбели выступил с тремя докладами об исследовании физиологических механизмов лучевой болезни. Он призывал: «Задача состоит в том, чтобы предотвратить те опасные последствия, которые связаны с применением атомной энергии» [11].

Леон Абгарович Орбели был поистине человек леонардовского масштаба и широты интересов. Он работал в Лейпциге (Германия), Кембридже (Англия), Неаполе (Италия), читал лекции в университетах США, выступал с докладами в Лувене (Бельгия), Стокгольме (Швеция), Копенгагене (Дания) и Инсбруке (Австрия). Л.А. Орбели вел уникальную организационную деятельность: был редактором «Трудов Общества русских врачей в С.-Петербурге», членом редколлегии «Физиологического журнала им. И.М. Сеченова», председателем совещания по борьбе с электротравмами при Облздравотделе, членом-корреспондентом Парижского биологического общества, заместителем председателя Ленинградского общества физиологов им. И.М. Сеченова, членом Всегерманской Леопольдино-Каролинской Академии естествоиспытателей (г. Галле, Германия), председателем Ленинградского общества физиологов им. И.М. Сеченова, членом Организационного комитета по созыву Всесоюзной конференции по изучению стратосферы при Академии наук СССР, ответственным редактором «Физиологического журнала им. И.М. Сеченова», делегатом Всероссийского съезда Советов, председателем Правления Всесоюзного общества физиологов, биохимиков и фармакологов, председателем Комиссии по присуждению премии им. И.П. Павлова, председателем постоянной Комиссии по аварийно-спасательному делу при Главном управлении ВМФ, вице-президентом Академии наук СССР, председателем Военно-санитарной комиссии при Академии наук СССР, председателем Комиссии по физиологической оптике и акустике при Академии наук СССР, ответственным редактором журналов: «Доклады АН СССР», «Известия АН СССР (серия биологическая)», «Общая биология» и «Успехи современной биологии». Кроме того, он был почетным

членом Английского физиологического общества, почетным членом Американского физиологического общества, иностранным членом Французской Академии медицины, почетным членом Румынской Академии медицины, почетным членом Нью-Йоркской Академии медицины, почетным доктором Карлова университета в Праге, членом Центрального совета Всесоюзного общества физиологов, членом Ученого совета по медицинской радиологии при Минздраве СССР, членом Комиссии при Президиуме АМН СССР по разработке проблемы овладения космическим пространством, председателем Центрального совета Всесоюзного общества физиологов, президентом Ленинградского общества естествоиспытателей, председателем Организационного комитета 9-го Всесоюзного съезда физиологов, биохимиков и фармакологов [1].



Л.А. Орбели в операционной

В полной мере проявился и блестящий педагогический талант Л.А. Орбели. Благодаря его энергии кафедры физиологии Медицинского института и Физиологическое отделение Научного института им. П.Ф. Лесгафта объединили в себе научно-исследовательскую и педагогическую деятельность, аудитории во время лекций Леона Абгаровича всегда были полны студентами. Орбели приучал взвешивать доводы «за» и «против» того или иного взгляда и пояснял: «Даже те выводы, которые представляются в настоящее время бесспорными, могут быть в дальнейшем подвергнуты пересмотру, если появятся новые факты. Успехи науки – это результат упорного труда и борьбы мнений» [5].

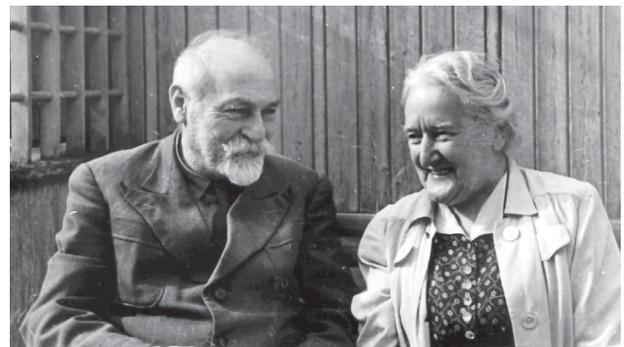
Нельзя не вспомнить и о человеческих качествах Леона Абгаровича. Имя Орбели неизменно вызывает тепло в душе у тех, теперь уже немногих, кто лично его знал. Он был необычайно добрым человеком. Известно, что у его референта Г.П. Цуриновой был список сотрудников, которым Леон Абгарович помогал материально, из своей зарплаты. В коллективе Л.А. Орбели была традиция празднования Нового

года: он сам наряжался Дедом Морозом и приглашал детей сотрудников института на елку, где дарил им подарки, от себя [3].



Леон Абгарович Орбели с детьми сотрудников института, 1957 год

Безмерным теплом и любовью проникнуты воспоминания Абгара Леоновича Орбели о семье его деда. Они дают подлинное представление о той, к сожалению, ушедшей от нас жизни, когда считали единой семьей и дом, и работу, и всех окружающих людей [12]. На своем 75-летнем юбилее Леон Абгарович определил, в чем главное счастье: «В том, что на протяжении всей своей жизни я довольно часто и много имел возможности делать людям добро». Какая потребность в добре должна быть у человека, если возможность его делать составляет основное счастье жизни! Общение, главное достояние жизни семьи Орбели, как пишет Абгар Леонович, это не только кабинетные беседы или прогулки один на один, совещания, когда собирались все; это и застолья. Разницы между беседой в кабинете и за столом никогда не было. Та же непринужденность, те же шутки, анекдоты, порой добродушные, порой безжалостные. «Чувство юмора – непременно условие для вступления в Орбелевский коллектив» [12].



Леон Абгарович и Елизавета Иоакимовна Орбели на даче в Комарово, 1957 год

Охватывающая почти полувековой период семейная переписка, изданная в Армении на основе уникальных материалов музея братьев Орбели, дает представление об атмосфере, интересах, образе и укладе жизни, о друзьях и родственниках этой семьи. Письма отца, Абгара Иосифовича Орбели, полны добрых советов и наставлений сыновьям: постоянное напоминание об их долге сосредоточиться и основательно овладеть знаниями, не позволять себе отвлекаться на посторонние дела, жить экономно, разумно расходовать средства и в то же время не жалеть денег на приобретение книг, посещения театров и приличной одежды [2]. Нежная любовь братьев друг к другу, уважение и преданность семье, все это – те нравственные основы, которые позволили сформироваться личностям трех выдающихся ученых.

Хочется поделиться и личными воспоминаниями. Соавтору этой статьи (Е.В. Розенгарт) посчастливилось быть одним из последних сотрудников Института, принятых на работу самим Леоном Абгаровичем. Такова была традиция, идущая, конечно, от ощущения работы как родного дома – все сотрудники проходили через знакомство и одобрение Орбели. В том далеком мае 1958 года Леон Абгарович уже был болен, лежал дома, но неизменно был рад новым встречам (и об этом вспоминает А.Л. Орбели [12]). Я пришел в назначенный час, Елизавета Иоакимовна провела меня в комнату, представила. Леон Абгарович живо поинтересовался моим образованием и научными предпочтениями – так состоялось мое «крещение». На всю жизнь осталось во мне ощущение тепла и сопричастности к большому ученому и такому доступному человеку.

9 декабря 1958 года Леона Абгаровича Орбели не стало. Похороны состоялись на Богословском кладбище по всем правилам военного регламента: генерала-полковника медицинской службы в последний путь проводили залпами из артиллерийских орудий.



Могила семьи Орбели на Богословском кладбище

Необходимость служить науке, жить ею и для нее – такой пример жизни дал Л.А. Орбели, этому учит созданная им живая научная школа. В жизнеспособности наследия Л.А. Орбели убеждает частое обращение к его трудам. Регулярно проводятся совещания по эволюционной физиологии, в первом из которых он принял участие, а последующие посвящены памяти Л.А. Орбели. Сохраняется высокий научный рейтинг у созданного им Института эволюционной физиологии им. И.М. Сеченова РАН в Санкт-Петербурге, успешно работает в Ереване Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН Армении. Президиум АН СССР в 1959 году учредил премию имени Л.А. Орбели, она присуждается за лучшие работы в области эволюционной физиологии и физиологии вегетативной нервной системы один раз в три года. Ежегодно в ИЭФБ проводится конкурс студенческих проектов имени Л.А. Орбели, победителям которого присуждается стипендия.

Работа поддержана государственным заданием № 075-0152-22-00. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи. Вклад авторов: идея работы (О.Г.А. и Р.Е.В.), сбор данных (Б.Н.Е.), написание и редактирование манускрипта (Б.Н.Е., О.Г.А., Р.Е.В.).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Григорьян НА (сост.), Свидерский ВЛ (ред.) Академик Леон Абгарович Орбели. Научное наследие. М.: Наука; 1997.
2. Бунятян МА, Мкртчян ГА (авт.-сост.). Страницы из жизни семьи Орбели: Письма 1894-1936. Ереван: Гитутюн; 2005.
3. Фирсов МЛ, Шпаков АО (ред.) Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук: страницы истории. СПб.: Изд-во Политех. ун-та; 2016.
4. Наточин ЮВ. Жизнь наукой. Природа. 2017;7(1223):69-80.

5. Лейбсон ЛГ. Академик Леон Абгарович Орбели. Неопубликованные главы биографии. Л.: Наука, 1990.
6. Басова НЕ, Кривченко АИ, Оганесян ГА, Розенгарт ЕВ. Наследие академика Л.А. Орбели: Институту эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН 65 лет. Биосфера. 2021;13:21-40.
7. Наточин ЮВ. Эволюционная физиология. Журн эволюц биох физиол. 2017;(2):65-76.
8. Григорьев АИ, Потапов АН. Вклад академика Леона Абгаровича Орбели и его школы в развитие физиологии экстремальных состояний. Росс физиол журн им ИМ Сеченова. 2007;93:710-8.
9. Благинин АА, Емельянов ЮА, Лизогуб ИН. Основоположник научной школы авиационной медицины (к 120-летию со дня рождения М.П. Бресткина). Вест Росс Воен-мед акад. 2016;1(53):268-70.
10. Егоров ББ. Речь товарища Б.Б. Егорова. Газета «Правда». 1964;294(16880):2.
11. Басова НЕ, Оганесян ГА, Розенгарт ЕВ. Титан военной медицины. К 140-летию со дня рождения академика Л.А. Орбели. Защита и безопасность. 2022;2:40-1.
12. Орбели АЛ. Воспоминания о Леоне Абгаровиче Орбели. Интеграц физиол 2022;3;(1):9-15.
3. Firsov ML, Shpakov AO, eds. Institut Evoliutsionnoy Fiziologii i Biokhimii im. I. M. Sechenova Rossiyskoy Akademii Nauk: Stranitsy Istorii [Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences: Pages of its History]. Saint Petersburg: Izdatelstvo Politekhicheskogo Universiteta; 2016. (In Russ.)
4. Natochin YuV. [Life for science]. Priroda. 2017;7(1223):69-80. (In Russ.)
5. Leybson LG. Akademik Leon Agbarovich Orbeli. Neopublikovannye Glave Biografii. Leningrad: Nauka; 1990. (In Russ.)
6. Basova NYe, Krivchenko AI, Oganesyana GA, Rozengart YeV. [Academician L.A. Orbeli's heritage: the 65 years anniversary of I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences]. Biosfera. 2021;13:21-40. (In Russ.)
7. Natochin YuV. Evolutionary physiology. J Evol Biochem. 2017;53:156-70. (In Russ.)
8. Grigoryev AI, Potapov AN. [The contribution of academician Leon Abgarovich Orbely and his school to the development of extreme states physiology]. Ross Fiziol Zhurn im I M Sechenova. 2007;93:710-8. (In Russ.)
9. Blaginin AA, Emelyanov YuA, Lizogub IN. [Founder of scientific school of aviation medicine (to the 120th anniversary of the birth of M.P. Brestkin)]. Vestn Ross Voen-Med Akad. 2016;1(53):268-70. (In Russ.)
10. Yegorov BB. [Comrade B.B. Yegorov' speech]. Pravda. 1964;294(16880):2. (In Russ.)
11. Basova NYe, Oganesyana GA, Rozengart YeV. [Titan of military medicine. To the 140th anniversary of Academician L.A. Orbely]. Zashchita i Bezopasnost'. 2022;2:40-1. (In Russ.)
12. Orbely AL. [Memories of Leon Abgarovich Orbely]. Integativnaya Fiziologia. 2022;3;(1):9-15. (In Russ.)

Общий список литературы/Reference List

1. Grigoryan NA, Sviderskij VL, eds. Akademik Leon Abgarovich Orbeli. Nauchnoye Naslediye. [Academician Leon Abgarovich Orbely. Scientific heritage]. Moscow: Nauka; 1997. (In Russ.)
2. Buniatyana MA, Mkrtchyan GA, eds. Stranitsy iz Zhizni Sem'i Orbely: Pis'ma 1894-1936. [Pages of Life of Orbely Family. Letters 1894-1936]. Erevan: Gitutjun; 2005. (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 2022 году:

- Абрамов А.В.** докт. биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории териологии Зоологического института РАН (Санкт-Петербург)
- Аличаев М.М.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агропочвоведения Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан (Махачкала)
- Аникин В.В.** докт. биол. наук, профессор, профессор кафедры морфологии и экологии животных Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
- Асадова А.И.** докт. филос. по биол. наукам, ведущий научный сотрудник отдела зерновых и зернобобовых культур Института генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана (Баку)
- Ашиев А.Р.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник лаборатории зернобобовых культур Аграрного научного центра «Донской» (Зерноград)
- Баранин С.В.** докт. хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории карбоциклических соединений № 10 Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (Москва)
- Безуглова О.С.** докт. биол. наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Иванковского Южного федерального университета (Ростов-на-Дону)
- Богданов Р.Е.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра имени И.В. Мичурина (Мичуринск)
- Боме Н.А.** докт. с/х наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета
- Бородулина О.В.** канд. биол. наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Костанайского регионального университета имени А. Байтурсынова
- Бронтов О.К.** докт. с/х наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агроэкологических исследований свекловичных агроценозов Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Музлумава (Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС)
- Будынков Н.И.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной экологии микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вяземы)
- Буходуров Ш.Б.** докт. техн. наук, заместитель директора по науке Согдийского филиала Института садоводства и овощеводства Таджикской академии сельскохозяйственных наук (Душанбе)
- Бушуева В.И.** докт. с/х наук, профессор кафедры селекции и генетики Белорусской государственной орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии (Могилевская обл., г. Горки)
- Воробьев В.Ф.** докт. с/х наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (Москва)
- Гармаш Н.Ю.** главный научный сотрудник лаборатории аналитических и регистрационных испытаний Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская обл., г. Одинцово)
- Гасанова Г.М.** докт. с/х наук, доцент, зав. лаб. качества зерна Азербайджанского научно-исследовательского института земледелия (Баку)
- Гвоздев В.Е.** докт. биол. наук, профессор кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета
- Гелашвили Д.Б.** докт. биол. наук, профессор, консультант кафедры экологии института биологии и биомедицины Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского

- Гриценко В.В.** докт. биол. наук, доцент, профессор кафедры защиты растений сектора энтомологии, Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва)
- Джос Е.А.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. селекции и семеноводства пасленовых культур Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Енгальчева И.А.** канд. с/х наук, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Ефимов П.Г.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела Гербарий высших растений Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)
- Зейналов А.С.** докт. биол. наук, зав. лаб. энтомологии Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (Москва)
- Иванищев В.В.** докт. с/х наук, профессор, заведующий кафедрой биологии и технологии живых систем Тульского государственного педагогического университета имени Л.Н. Толстого
- Иванов В.Д.** канд. биол. наук, заведующий кафедрой энтомологии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Имомов С.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и агротехники зернобобовых культур Института земледелия НАН Таджикистана
- Кавеленова Л.М.** докт. биол. наук, профессор, зав. каф. экологии, ботаники и охраны природы Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева
- Кан Л.Ю.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Капсамун А.Д.** докт. с/х наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. луговых агроценозов отдела мелиоративного земледелия Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (Тверская обл., Калининский р-н, п. Эммаусс)
- Карлова Л.В.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник отдела эпидемиологии и фитосанитарии болезней зерновых культур Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вяземы)
- Кирдин В.Ф.** докт. с/х наук, ведущий научный сотрудник лаборатории разработки сортовых технологий зернобобовых культур Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская обл., г. Одинцово)
- Колесова Е.А.** канд. с/х наук, доцент, заведующая кафедрой земледелия и растениеводства Российского государственного аграрного заочного университета (Балашиха)
- Кузнецова Л.А.** канд. с/х наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Петрозаводского государственного университета
- Кулагин А.Ю.** канд. биол. наук, заведующий лабораторией лесоведения Уфимского института биологии – обособленного структурного подразделения Уфимского федерального исследовательского центра РАН
- Липаткин В.А.** канд. биол. наук, заведующий кафедрой ЛТ-2 «Лесоводство, экология и защита леса» Мытищинского филиала Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана
- Лобода Б.П.** докт. с/х наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории аналитических и регистрационных испытаний Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская обл., г. Одинцово)
- Мирын Д.М.** канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой геоботаники и экологии растений Санкт-Петербургского государственного университета
- Москвичев А.Ю.** докт. с/х наук, профессор кафедры садоводства и защиты растений Волгоградского государственного аграрного университета
- Муковоз П.П.** докт. хим. наук, заведующий лабораторией направленного органического синтеза химических соединений иммуномодулирующего и биоцидного действия Всероссийского научно-исследовательского института Фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, р. п. Большие Вяземы)
- Нешатаев В.Ю.** докт. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой ботаники и дендрологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова

- Никольский А.А.** докт. биол. наук, профессор Российского университета дружбы народов, член Комиссии по охраняемым природным территориям при Международном союзе охраны природы (Москва)
- Пахолкова Е.В.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела микологии и иммунитета Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, Большие Вяземы)
- Пинчук Е.В.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Плескачев Ю.Н.** докт. с/х наук, профессор, руководитель научного центра по земледелию Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская обл., г. Одинцово)
- Подвигина О.А.** докт. с/х наук, ведущий научный сотрудник отдела семеноводства и семеноведения с механизацией семеноводческих процессов Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Музлумова (Воронежская область, Рамонский район)
- Поливанова О.Б.** канд. биол. наук, доцент кафедры биотехнологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва)
- Понажаев В.П.** докт. с/х наук, главный научный сотрудник Обособленного подразделения «Научно-исследовательский институт льна» Федерального научного центра лубяных культур (Торжок)
- Приходько Ю.Н.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского центра карантина растений (Московская область, г. о. Раменский, р. п. Быково)
- Ручин А.Б.** докт. биол. наук, профессор, директор Объединенной дирекции Мордовского государственного природного заповедника имени П.Г. Смидовича и национального парка «Смольный» (Саранск)
- Рыбальский Н.Г.** докт. биол. наук, профессор, директор Автономной некоммерческой организации Национальное информационное агентство «Природные ресурсы» (НИА-Природа) (Москва)
- Савоськина О.А.** докт. с/х наук, доцент, профессор кафедры земледелия и методики опытного дела Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва)
- Сангинов А.С.** канд. с/х наук, доцент, заведующий отделом селекции хлопчатника Хатлонского филиала Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук
- Сергеева С.Е.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса (Московская обл., г. Лобня)
- Сердеров В.К.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник отдела плодоовощеводства Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан (Махачкала)
- Снакин В.В.** докт. биол. наук, профессор, заведующий Сектором научно-методической работы и фондов Музея землевладения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, заведующий лабораторией ландшафтной экологии Института фундаментальных проблем биологии РАН
- Сорокопудов В.Н.** докт. с/х наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории химии природных соединений Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (Москва)
- Степанов В.А.** канд. с/х наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и семеноводства столовых корнеплодов Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Тареева М.М.** канд. с/х наук, старший научный сотрудник, заведующая издательством Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.)
- Теймуров С.А.** канд. с/х наук, заведующий лабораторией агропочвоведения Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан (Махачкала)
- Тимербекова С.К.** докт. биол. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам Всероссийского научно-исследовательского института Фитопатологии (Московская область, Одинцовский район, Большие Вяземы)

- Тихонов А.Н.** канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории териологии Зоологического института РАН (Санкт-Петербург)
- Трофимов И.А.** докт. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией геоботаники и агроэкологии Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса (Московская обл., г. Лобня)
- Упадышева М.Т.** докт. с/х наук, член-корр. РАН, главный научный сотрудник лаборатории защиты растений Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (Москва)
- Усков А.И.** докт. с/х наук, заведующий отдела биотехнологии и иммунодиагностики Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха (Люберцы)
- Ферштат Л.Л.** докт. хим. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией азотосодержащих соединений № 19 Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (Москва)
- Чевердин Ю.И.** докт. с/х наук, главный научный сотрудник, заведующий отделением агропочвоведения Воронежского федерального аграрного научного центра имени В.В. Докучаева
- Шевченко С.Н.** докт. с/х наук, академик РАН, директор Самарского научного центра РАН
- Шейхмазанова Ф.А.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник, доцент отдела зерновых и зернобобовых культур Института генетических культур Национальной академии наук Азербайджана (Баку)
- Эргашева М.А.** канд. с/х наук, ученый секретарь Согдийского филиала Института садоводства и овощеводства Таджикской академии сельскохозяйственных наук (Душанбе)



СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 14

Combined contents of volume 14

Стр.	ПРАКТИКА / PRACTICE	Стр.	
1-52	ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ А.И. Литвинова, Н.А. Евстигнеева, Ю.В. Евстигнеева <i>VERTICAL GREENING OF URBAN SPACES</i> A.I. Litvinova, N.A. Yevstigneyeva, Yu.V. Yevstigneyeva	3:168	МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МИГРАЦИИ ПЕСТИЦИДОВ: АНАЛИЗ, СРАВНЕНИЕ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ В.Н. Колупаева <i>METHODS FOR STUDYING PESTICIDES MIGRATION: ANALYSIS, COMPARISON, AND RECOMMENDATIONS FOR USE IN ASSESSING THE RISK OF PESTICIDES IMPACT ON GROUNDWATER</i> V.N. Kolupaeva
2:75	ЭМЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ с. КАРГАСОК ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ) О.С. Полякова, С.Ю. Семенов <i>EMERGENCY ANALYSIS OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS EXEMPLIFIED WITH TREATMENT FACILITIES IN KARGASOK VILLAGE (TOMSK REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION)</i> O.S. Polyakova, S.Yu. Semyonov	3:175	МЕТОДОЛОГИЯ БИОГЕОСИСТЕМОТЕХНИКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВЫ (ОБЗОР) В.П. Калиниченко, А.П. Глинушкин, А.В. Свидзинский, Т.М. Минкина, Н.И. Будынков, О.Д. Филипчук, А.А. Околелова, Д.А. Макаренко <i>BIOGEOSYSTEMIC METHODOLOGY FOR SOIL HEALTH AND PRODUCTIVITY: A REVIEW</i> V.P. Kalinichenko, A.P. Glinushkin, A.V. Svidzinsky, T.M. Minkina, N.I. Budynkov, O.D. Filipchuk, A.A. Okolelova, D.A. Makarenkov
3:151	МОНИТОРИНГ КАК НАУЧНАЯ ОСНОВА СОВРЕМЕННОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА Д.А. Иванов <i>MONITORING AS A SCIENTIFIC BASIS FOR MODERN FODDER PRODUCTION</i> D.A. Ivanov	3:193	АГРОЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова, Е.П. Яковлева, А.А. Шпедт, Т.А. Асеева <i>AGRO-LANDSCAPE AND ECOLOGICAL ZONING IS THE BASIS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE IN EASTERN SIBERIA AND THE FAR EAST</i> I.A. Trofimov, L.S. Trofimova, Ye.P. Yakovleva, A.A. Shpedt, T.A. Aseyeva
3:156	ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ Л.П. Евстратова, Е.В. Николаева, Г.В. Евсеева <i>THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PERENNIAL GRASSES IN SOLVING THE PROBLEM OF BIOLOGIZATION OF AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF KARELIA</i> L.P. Yevstratova, Ye.V. Nikolayeva, G.V. Yevseyeva	4:262	МАТЕРИАЛЫ II МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО В XXI ВЕКЕ» (МОСКВА 3-6 ОКТЯБРЯ 2022 Г.) Редакторы: проф. С.К. Темирбекова (ФГБНУ ВНИИФ), проф. О.О. Белова (МСХА имени К.А. Тимирязева), канд. с.-х. наук М.М. Тареева (ФГБНУ ФНЦО) <i>PROCEEDINGS OF THE II INTERNATIONAL CONFERENCE «PROBLEMS OF ECOLOGY AND AGRICULTURE IN THE XXI CENTURY», MOSCOW, 3-6 OCTOBER 2022</i>
3:163	АСПЕКТЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ ОТ БОЛЕЗНЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЕВРОПЫ М.Д. Ерохова, М.А. Кузнецова <i>ASPECTS OF INTEGRATED DISEASE MANAGEMENT FOR POTATO UNDER CURRENT CONDITIONS OF SUSTAINABLE INTENSIFICATION OF AGRICULTURE OF EUROPE</i> M.D. Yerokhova, M.A. Kuznetsova		

Стр.

Edited by:

S.K. Temirbekova, Prof., PhD,

O.O. Beloshapkina, Prof., PhD

M.M. Tareyeva, PhD

ПРИРОДА / NATURE

1:8

ЛЕТНЕЕ ПИТАНИЕ СИВУЧА В ВОДАХ ДАЛЬНОГО ВОСТОКА РОССИИ В 2004–2008 ГОДАХ**И.А. Усатов, В.Н. Бурканов**

SUMMER DIET OF STELLER SEA LION

IN THE RUSSIAN FAR EAST, 2004–2008

I.A. Usatov, V.N. Burkanov

1:29

МЯКОТНИЦА ОДНОЛИСТНАЯ MALAXIS MONOPHYLLOS (ORCHIDACEAE) В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: УТОЧНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ОХРАНЫ ВИДА**И.В. Блинова, С.В. Асминг**

WHITE ADDER'S MOUTH MALAXIS MONOPHYLLOS (L.) SW. (ORCHIDACEAE) IN MURMANSK REGION (RUSSIA): DETAILS TO REGIONAL DISTRIBUTION AND SOME NOTES ON SPECIES PROTECTION

I.V. Blinova, S.V. Asming

1:29

АДАПТАЦИИ ВИДА К ОБИТАНИЮ НА ПЕРИФЕРИИ АРЕАЛА: ОБЗОР ОСОБЕННОСТЕЙ БИОЛОГИИ ПОЛЧКА (GLIS GLIS LINNAEUS, 1766) В САМОЙ ВОСТОЧНОЙ ПОПУЛЯЦИИ**В.А. Вехник**

SPECIES ADAPTATION TO THE PERIPHERAL HABITATS OF DISTRIBUTION RANGE: A REVIEW OF PECULIARITIES OF THE UTMOST EASTERN POPULATION OF THE EDIBLE DORMOUSE (GLIS GLIS L., 1766)

V.A. Vekhnik

2:82

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У КЛЕНОВ ACER CAMPESTRE L., A. NEGUNDO L. И A. SACCHARINUM L. В РОСТОВЕ-НА-ДОНУ**М.А. Игнатова, Б.Л. Козловский, П.А. Дмитриев, М.В. Куропятников, Т.В. Вардуни**

SEASONAL CHANGES IN PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENTS IN THE MAPLES ACER CAMPESTRE L., A. NEGUNDO L. AND A. SACCHARINUM L. IN ROSTOV-ON-DON

M.A. Ignatova, B.L. Kozlovskiy, P.A. Dmitriyev, M.B. Kuropiatnikov, T.V. Varduni

Стр.
2:98**ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЦВЕТЕНИЕ АРКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ИМАНДРА****Н.А. Кашулин, А.К. Беккелунд**

CLIMATE CHANGES AND ALGAL BLOOM IN THE ARCTIC LAKE IMANDRA

N.A. Kashulin, A.K. Bekkelund

2:126

СВЕТОВОЕ АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ: ДЕЙСТВИЕ НА НАСЕКОМЫХ**М.И. Жуковская, И.Ю. Северина, Е.С. Новикова**

ANTHROPOGENIC LIGHT POLLUTION: IMPACT ON INSECTS

M.I. Zhukovskaya, I.Yu. Severina, Ye.S. Novikova

2:137

УЯЗВИМЫЕ ВИДЫ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ НИЖНЕ-СВИРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**И.Ю. Попов, Д.А. Стариков**

THREATENED VERTEBRATE SPECIES IN NIZHNE-SVIRSKY RESERVE

I.Yu. Popov, D.A. Starikov

3:200

ЭКОЛОГИЯ ПИТАНИЯ СИВУЧА С РЕПРОДУКТИВНОГО ЛЕЖБИЩА НА МЫСЕ КОЗЛОВА (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**И.А. Усатов, В.Н. Бурканов, А.М. Токранов**

STELLER SEA LION FEEDING ECOLOGY IN THE VICINITY OF CAPE KOZLOVA ROOKERY, EASTERN KAMCHATKA

I.A. Usatov, V.N. Burkanov, A.M. Tokranov

3:213

ОТНОШЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ К НАДЗЕМНОЙ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ЕВРАЗИИ В ГРАДИЕНТАХ ТЕМПЕРАТУР И ОСАДКОВ**В.А. Усольцев, И.С. Цепордей**

ROOT TO SHOOT BIOMASS RATIOS OF FOREST-FORMING SPECIES ALONG TEMPERATURE AND PRECIPITATION GRADIENTS IN EURASIA

V.A. Usoltsev, I.S. Tsepordey

3:235

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ К ВРЕДИТЕЛЯМ И АФИЛЛОФОРОВЫМ ГРИБАМ**С.Э. Некляев, Л.Г. Серая, Г.Е. Ларина**

THE ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF CURRENT CLIMATE CHANGES THAT NEGATIVELY AFFECT THE RESISTANCE OF CONIFEROUS PLANTS TO PESTS AND POLYPORE FUNGI

S.E. Nekliayev, L.G. Seraya, G.Ye. Larina

Стр.	ТЕОРИЯ / THEORY	Стр.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ И ФЕНОТИПИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ И.А. РАПОПОРТОМ (обзор литературных источников)
2:61	ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ С ЭКОСИСТЕМОЙ И ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ КЛЕТОК С ЖИВЫМ ОРГАНИЗМОМ А.Г. Голубев COMMON PRINCIPLES OF INTERRELATIONSHIPS BETWEEN LIVING ORGANISMS AND AN ECOSYSTEM AND BETWEEN MALIGNANT CELLS AND AN ORGANISM A.G. Golubev	1:1	УРОКИ ПРОШЛОГО ДЛЯ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ В НОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ А.Г. Голубев, В.Н. Большаков, Л.Я. Боркин, В.А. Драгавцев, Г.А. Исаченко, А.И. Новиков, Е.Я. Фрисман, Л.П. Чурилов, Г.С. Розенберг LESSONS FROM THE PAST FOR SCHOLARLY JOURNALS IN THE NEW REALITY A.G. Golubev, V.N. Bolshakov, L.J. Borkin, V.A. Dragavtsev, G.A. Isachenko, A.I. Novikov, Ye.Ya. Frisman, L.P. Churilov, G.S. Rozenberg
3:145	ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ Г.С. Розенберг HOMOLOGICAL SERIES AND THEORETICAL ECOLOGY G.S. Rozenberg	3:254	ЛЕВ АНАТОЛЬЕВИЧ ЖИВОТОВСКИЙ (к 80-летию со дня рождения) Г.О. Османова LEV ANATOLYEVICH ZHIVOTOVSKY (for his 80th birthday) G.O. Osmanova
3:245	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ И ФЕНОТИПИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ И.А. РАПОПОРТОМ (обзор литературных источников) Л.И. Вайсфельд, Н.А. Боме		





Подписано в печать **15.04.2023.**

Дата выхода в свет **28.04.2023**

Отпечатано в типографии ООО "Типография Лесник":

197374, Санкт-Петербург, ул. Сабиловская, 37.

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**