



2019

*Теоретическая
и прикладная*

ЭКОЛОГИЯ

ISSN 1995-4301 (PRINT)
ISSN 2618-8406 (ONLINE)

№ 1

Theoretical and
Applied Ecology



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

МЕТОДОЛОГИЯ
И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ.
МОДЕЛИ
И ПРОГНОЗЫ

МОНИТОРИНГ
АНТРОПОГЕННО
НАРУШЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА

АГРОЭКОЛОГИЯ

СОЦИАЛЬНАЯ
ЭКОЛОГИЯ

ПОПУЛЯЦИОННАЯ
ЭКОЛОГИЯ

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

РЕЦЕНЗИИ

ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

<http://envjournal.ru>



Президент Вятской торгово-промышленной палаты
Николай Михайлович Липатников,
к. э. н., член-корреспондент РАЕН,
Почётный гражданин Кировской области

Вятская торгово-промышленная палата (ТПП) на системной основе рассматривает вопросы, связанные с экологией региона. Сегодня эта тема является особенно актуальной, поскольку касается обеспечения здорового образа жизни, сохранения среды, в которой живёт каждый из нас. Умелое сочетание потребностей человека с окружающей средой, с разумным ведением хозяйственной деятельности в различных отраслях – задача любого региона нашей страны.

Вятской ТПП постоянно проводятся конференции и круглые столы, посвящённые вопросам экологического предпринимательства, проблемам формирования особо охраняемых природных территорий, экологической культуре населения, проблемам водоснабжения и качества питьевой воды областного центра, а также вопросам, связанным с лесовосстановлением, обеспечением соблюдения лесного законодательства, утилизацией отходов лесопиления.

В целях реализации экологических задач при Вятской ТПП создана Ассоциация переработчиков отходов, одним из направлений в работе которой стал проект «Создание системы управления отходами потребления и вторичными материальными ресурсами на территории региона».

Кировская область обладает природными ресурсами, которые позволяют успешно развивать базовые отрасли экономики. При этом устойчивое социально-экономическое развитие региона возможно только при условии эффективного использования природно-ресурсного потенциала и обеспечения экологической безопасности региона. Одним из ключевых факторов для этого является необходимость формирования экологической культуры населения для выработки грамотного, экологически ответственного поведения на производстве и в бытовой сфере.



**Теоретическая
и прикладная
ЭКОЛОГИЯ**
№ 1, 2019
<http://envjournal.ru>

Журнал включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (№ 1959 по состоянию на 30.11.2018).

Журнал включён в каталог периодических изданий Ульрих (Ulrich's Periodicals Directory), в библиографические базы Scopus (SourceID 21100828916), RSCI на платформе WoS, Google Scholar и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Журнал издаётся с 2007 года.

Учредители журнала: ООО Издательский дом «Камертон», ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет».

Главный редактор Т.Я. Ашихмина, д.т.н., профессор, зав. лабораторией Вятского государственного университета, зав. лабораторией Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Зам. главного редактора Л.И. Домрачева, д.б.н., профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии

Зам. главного редактора С.В. Дёгтева, д.б.н., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Зам. главного редактора И.Г. Широких, д.б.н., зав. лабораторией Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого

Зам. главного редактора Б.И. Кочуров, д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института географии РАН

Ответственный секретарь С.Г. Скугорова, к.б.н., научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Технические секретари

Т.И. Кутявина, к.б.н., старший научный сотрудник

Вятского государственного университета,

А.С. Тимонов, научный сотрудник

Института биологии Коми НЦ УрО РАН

По вопросам публикации статей обращаться:
610000, г. Киров, ул. Московская, 36.
Тел. (8332) 37-02-77. E-mail: envjournal@vyatsu.ru

Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны. Редакция не несёт ответственности за достоверность информации, содержащейся в рекламных объявлениях.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: серия ПИ № ФС77-74434 от 23 ноября 2018 г. Подписные индексы 82027, 48482 в каталоге Агентства «Роспечать». Зарубежная подписка оформляется через фирмы-партнёры ЗАО «МК-ПЕРИОДИКА» по адресу: 129110, г. Москва, ул. Гиляровского, 39, тел.: (495) 281-91-37, 281-97-63. E-mail: info@periodicals.ru; <http://www.periodicals.ru>

Подготовлен к печати в издательстве ООО «О-Краткое» 610000, г. Киров, Динамовский проезд, 4, оф. 101.

Оригинал-макет – Татьяна Коршунова, фото на обложке – Александр Широких, перевод – Григорий Кантор, администратор сайта журнала – Вячеслав Рутман выпускающий редактор – Мария Зелаева. Директор издательства «О-Краткое» Евгений Дрогов © Оформление. Издательство «О-Краткое»

Подписано в печать 08.04.2019. Тираж 1150 экз. Заказ № 344.

Отпечатано в ООО «Кировская цифровая типография» 610017, г. Киров, ул. Молодой Гвардии, 57 а

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

- В.А. Алексеев** д.т.н., профессор Ижевского государственного университета
- А.М. Асхабов** д.г.-м.н., академик РАН, научный руководитель Президиума Коми НЦ УрО РАН
- Т.К. Головкин** д.б.н., профессор, главный научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН
- А. Гросс** д.х.н., профессор Орхусского университета (Дания)
- М.В. Дородников** к.с.-х. н., научный сотрудник Университета Гёттингена им. Георга Августа (Германия)
- И.Е. Дубовик** д.б.н., профессор Башкирского государственного университета
- Г.П. Дудин** д.б.н., профессор, зав. кафедрой Вятской государственной сельскохозяйственной академии
- Г.А. Евдокимова** д.б.н., профессор, заместитель директора Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН
- Г.М. Зенова** д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Г.Я. Кантор** к.т.н., научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН
- В.Л. Коваленко** к.т.н., доцент Украинского государственного химико-технологического университета
- Е.Ю. Колбовский** д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Э.И. Коломиец** д.б.н., академик НАН Беларуси, директор Института микробиологии НАН Беларуси
- Л.В. Кондакова** д.б.н., профессор Вятского государственного университета
- В.А. Коток** к.т.н., доцент Украинского государственного химико-технологического университета
- А.В. Кучин** д.х.н. член-корр. РАН, профессор, зав. отделом и зав. лабораторией Института химии Коми НЦ УрО РАН
- В.Н. Лаженцев** д.г.н., академик РАН, профессор, советник РАН
- В.З. Латыпова** д.х.н., член-корр. Академии наук Республики Татарстан, профессор Казанского федерального университета
- Ли Юй** профессор, директор Института микологии Цзилинского аграрного университета, иностранный член РАН (КНР)
- С.Г. Литвинцев** к.с.-х.н., проректор ВятГУ
- В.А. Малинников** д.т.н., профессор Московского государственного университета геодезии и картографии
- А.А. Москалёв** д.б.н. член-корр. РАН, зав. лабораторией Института биологии Коми НЦ УрО РАН
- С.В. Пестов** к.б.н., доцент Вятского государственного университета
- В.С. Петросян** д.х.н., профессор, зав. лабораторией Московского государственного университета
- С.А. Рубцова** д.х.н., директор Института химии Коми НЦ УрО РАН
- В.П. Савиных** д.т.н., член-корр. РАН, профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии, лётчик-космонавт, дважды Герой СССР
- Ф. Скапини** д.б.н., профессор Университета Флоренции (Италия)
- В.А. Сысуев** д.т.н., академик РАН, научный руководитель Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого
- В.А. Терехова** д.б.н., ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
- Т.А. Трифонова** д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Б.Н. Хойницки** д.б.н., профессор Познаньского университета наук о жизни (Польша)
- В.И. Холстов** д.х.н., руководитель центра аналитических исследований по Конвенциям о запрещении химического оружия ФГУП «ГосНИИОХТ»
- М.Х. Хусейн** д.б.н., профессор Университета Ассиут (Египет)



*Theoretical
and applied*
ECOLOGY
No. 1, 2019

The journal is included in the list of the leading peer-reviewed journals and issues for publishing the main results of research for PhD and doctoral dissertations (No. 1959 on November 30, 2018).

The journal is included into Ulrich's Periodicals Directory, bibliographic databases Scopus (SourceID 21100828916), RSCI on WoS, Google Scholar and Russian Science Citation Index (RSCI).

The journal is published since 2007.

The founders of the journal:
Publishing house "Kamerton", Vyatka State University

Editor-in-Chief T.Ya. Ashikhmina,

Doctor in Technical Sciences, Professor, Vyatka State University, Institute of Biology of the

Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

Vice-Editor-in-Chief L.I. Domracheva,

Doctor in Biology, Professor of Vyatka State Agricultural Academy

Vice-Editor-in-Chief S.V. Degteva,

Doctor in Biology, Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

Vice-Editor-in-Chief I.G. Shirokikh,

Doctor in Biology, Federal Agricultural Research Center of North-East named N.V. Rudnitsky

Vice-Editor-in-Chief B.I. Kochurov,

Doctor in Geography, Professor, the leading researcher of the Institute of Geography RAS

Executive Secretary S.G. Skugoreva,

PhD in Biology, researcher of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

Technical Secretaries:

T.I. Kutyavina, PhD in Biology, senior researcher of Vyatka State University,

A.S. Timonov, researcher of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

The articles are reviewed. Reprint without permission of the publisher is prohibited, links to the journal are obligatory when citing.

The editorial Board is not responsible for the accuracy of the information contained in advertisements.

Address: 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000
phone/fax: (8332) 37-02-77, e-mail: envjournal@vyatsu.ru

The edition is registered by Federal service for supervision in the sphere of communication, information technology and mass communications. Registration number and date of the decision on registration: series PI No. FS77-74434 on November 23, 2018.

Subscription index 82027, 48482
in the catalogue of Agency «Rospechat».

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC «MK-Periodica» directly.

Address: 39 Gilyarovskiy St., Moscow, Russia, 129110.
Tel: (495) 281-91-37, 281-97-63, Fax: (495) 281-37-98
E-mail address: info@periodicals.ru. <http://www.periodicals.ru>

Prepared for publication by the publishing house of «O-Kratkoe» of. 101, 4 Dnyamoskiy proezd, Kirov, 610000

Tel. +7 (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru.
Designer – Tatiana Korshunova. Cover photo – Aleksandr Shirokikh.

Translation – Grigoriy Kantor. Administrator of Web site –

Vyacheslav Rutman. Managing editor – Mariya Zelayeva
Director of the publishing house «O-Kratkoe» Evgeniy Drogov

© Publishing house «O-Kratkoe»

Printed in «Kirov digital printing house»
57 a Molodoy Gvardii St., Kirov, 610017

**THE EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
«THEORETICAL AND APPLIED ECOLOGY»**

- V.A. Alexeev** Doctor in Technical Sciences, Professor of Udmurt State University
- A.M. Askhabov** Doctor in Geology and Mineralogy, Academician of RAS, scientific director of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- T.K. Golovko** Doctor in Biology, Professor, the Chief Researcher of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- A. Gross** Doctor in Chemistry, Professor of Aarhus University (Denmark)
- M.V. Dorodnikov** PhD in Agricultural Sciences, Georg August University of Göttingen (Germany)
- I.E. Dubovik** Doctor in Biology, Professor of Bashkir State University
- G.P. Dudin** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State Agricultural Academy
- G.A. Evdokimova** Doctor in Biology, Professor, Vice-Director of Research Institute of the North Industrial Ecology, Kola SC of RAS
- G.M. Zenova** Doctor in Biology, Professor of Lomonosov Moscow State University
- G.Ya. Kantor** PhD in Technical Sciences, researcher of the Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- V.L. Kovalenko** PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Ukrainian State University of Chemical Technology
- E.Yu. Kolbovsky** Doctor in Geography, the leading researcher, Professor of Lomonosov Moscow State University
- E.I. Kolomiychuk** Doctor in Biology, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, Director of Institute of Microbiology, National Academy of Sciences of Belarus
- L.V. Kondakova** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State University
- V.A. Kotok** PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Ukrainian State University of Chemical Technology
- A.V. Kuchin** Doctor in Chemistry, corresponding member of RAS, Professor, scientific director Institute of Chemistry of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- V.N. Lazhentsev** Doctor in Geography, Professor, RAS Advisor
- V.Z. Latypova** Doctor in Agriculture, corresponding member of Tatarstan Academy of Sciences, Professor of Kazan Federal University
- Li Yu** Professor, Director of Mycology Institute of Jilin Agricultural University, Foreign Associate of RAS (China)
- S.G. Litvinets** PhD in Agricultural Sciences, Vice-Rector for Science and Innovation of Vyatka State University
- V.A. Malinnikov** Doctor in Technical Sciences, Professor of Moscow State University of Geodesy and Cartography
- AA. Moskalev** Doctor in Biology, corresponding member of RAS, Chief of the Laboratory of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- S.V. Pestov** PhD in Biology, Associate Professor of Vyatka State University
- V.S. Petrosyan** Doctor in Chemistry, Professor, Head of laboratory in Moscow State University
- S.A. Rubtsova** Doctor in Chemistry, Director of the Institute of Chemistry the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS
- V.P. Savinykh** Doctor in Technical Sciences, corresponding member of RAS, Professor, President of Moscow State University of Geodesy and Cartography, Pilot-Cosmonaut, twice Hero of the Soviet Union
- F. Scapini** Doctor in Biology, Professor of Florence University (Italy)
- V.A. Sysuev** Doctor in Technical Sciences, Academician of RAS, scientific director Federal Agricultural Research Center of North-East named N.V. Rudnitsky
- V.A. Terekhova** Doctor in Biology, leading researcher of A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS
- T.A. Trifonova** Doctor in Biology, Professor of Lomonosov Moscow State University
- V.I. Kholstov** Doctor in Chemistry, Professor, Head of the Center for Analytical Studies on the Conventions on the Prohibition of Chemical Weapons of the Federal State Unitary Enterprise "State Scientific Research Institute of Organic Chemistry and Technology"
- B.H. Chojnicki** Doctor in Biology, Professor of Poznan University of Life Sciences (Poland)
- M.H. Hussein** Doctor in Biology, Professor of Assiut University (Egypt)

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

- В. К. Шутиков, Т. Д. Зинченко* Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор) 5
E. S. Izmet'ev, S. A. Rubtsova, A. V. Kutchin Environmental aspects of sulfate turpentine refining (review) 12

СТАТЬИ

- Л. В. Кондакова, К. А. Безденежных, Т. Я. Ашихмина* Альгологический анализ состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования 23
А. П. Куклин, Г. Ц. Цыбекмитова Содержание токсичных элементов в воде и макроводорослях в водных объектах бассейна трансграничной реки Аргунь (Россия) 30
E. G. Riabova Content of heavy metals in urban surface water bodies 36
Е. Н. Гордина, А. А. Злобин, Е. А. Мартинсон, С. Г. Литвинцев Пектиновые полисахариды каллусной ткани стебля борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) 41
Э. А. Снегин, А. С. Бархатов Морфогенетическая структура популяций озёрной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Amphibia, Anura) в условиях городской среды 47
Л. П. Капелькина, Т. Е. Теплякова Особо охраняемые виды сосудистых растений в охранной зоне нефтепроводов Ярославской области 54
И. Н. Юранёва, В. Г. Зайнуллин Динамика элементов приспособленности экспериментальных популяций дрозофилы в условиях хронического низкоинтенсивного облучения 60
О. Ю. Минеев, Ю. Н. Минеев, С. К. Кочанов Распространение, численность и охрана соколообразных птиц (Falconiformes) в Ненецком автономном округе 65
E. I. Tikhomirova, O. A. Plotnikova, O. V. Atamanova, M. V. Istrashkina, A. V. Koshelev, A. L. Podolsky The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content 73
Л. А. Иванова, В. А. Мязин, М. В. Корнейкова, Н. В. Фокина, В. В. Редькина, Г. А. Евдокимова Разработка и оптимизация способа биологической очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота в условиях Арктики 82
И. А. Зырянов, А. П. Позолотин, А. Г. Будин, Е. В. Кантор Возможность снижения токсичности газообразных выбросов энергетических установок воздействием электростатического поля на зону горения органического топлива 88
Л. И. Домрачева, Д. В. Козылбаева, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова, М. Н. Гринась, В. А. Изотова Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) 94
Н. Е. Завьялова, И. Г. Широких, А. И. Косолапова, А. А. Широких Микробная трансформация органического вещества дерновоподзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений 102
I. Yu. Trushkova, T. Ya. Ashikhmina, L. V. Kondakova Ethnoecology of the Slavic World: application significance on the Eurasian space 111
М. А. Kostenko, O. V. Popova, M. Lutovac “Smart” state regulation in the sphere of environmental protection and nature 116
И. А. Гребнев Проблемы государственного регулирования организации зон охраны охотничьих ресурсов 122

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

МОНИТОРИНГ
АНТРОПОГЕННО
НАРУШЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ

ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ
СРЕД И ОБЪЕКТОВ

ПОПУЛЯЦИОННАЯ
ЭКОЛОГИЯ

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА

АГРОЭКОЛОГИЯ

СОЦИАЛЬНАЯ
ЭКОЛОГИЯ

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS OF ECOLOGY

- REVIEWS**
- V. K. Shitikov, T. D. Zinchenko* Multivariate statistical analysis of ecological communities (review)5
- E. S. Izmet'ev, S. A. Rubtsova, A. V. Kutchin* Environmental aspects of sulfate turpentine refining (review)12

MONITORING OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED AREAS

- ARTICLES**
- L. V. Kondakova, K. A. Bezdenezhnykh, T. Ya. Ashikhmina* Algological analysis of soil state in the vicinity of the plant "Maradykovskiy" after it finished functioning23
- A. P. Kuklin, G. Ts. Tsybekmitova* Content of toxic elements in water and macroalgae of the Argun River (Russia) basin water courses30

CHEMISTRY OF NATURAL ENVIRONMENTS AND OBJECTS

- E. G. Riabova* Content of heavy metals in urban surface water bodies36
- E. N. Gordina, A. A. Zlobin, E. A. Martinson, S. G. Litvinets* Pectic polysaccharides of callus tissue of the stem of *Heracleum sosnowskyi* Manden.41

POPULATION ECOLOGY

- E. A. Snegin, A. S. Barkhatov* Morphogenetic structure of marsh frog populations of *Pelophylax ridibundus* (Amphibia, Anura) under conditions of urban environment47
- L. P. Kapelkina, T. E. Teplyakova* Red Book of vascular plants along oil pipelines in Yaroslavl Region54
- I. N. Yuraneva, V. G. Zainullin* The dynamics of the elements of fitness of experimental populations of *Drosophila* under conditions of chronic low-intensity exposure60
- O. Y. Mineev, Y. N. Mineev, S. K. Kochanov* Distribution, number and protection of the Falconiformes in Nenets Autonomous district65

GREENING OF PRODUCTION

- E. I. Tikhomirova, O. A. Plotnikova, O. V. Atamanova, M. V. Istrashkina, A. V. Koshelev, A. L. Podolsky* The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content73
- L. A. Ivanova, V. A. Myazin, M. V. Korneykova, N. V. Fokina, V. V. Redkina, G. A. Evdokimova* Development and optimization of biological treatment of quarry waters from mineral nitrogen in the Arctic..... 82
- I. A. Zyryanov, A. P. Pozolotin, A. G. Budin, E. V. Kantor* The possibility of reducing the toxicity of gaseous emissions of power plants by the effect of an electrostatic field on the organic fuel combustion zone..... 88

AGROECOLOGY

- L. I. Domracheva, D. V. Kozylbayeva, A. L. Kovina, L. V. Trefilova, Yu. N. Zykova, M. N. Gripas, V. A. Izotova* Optimization of the microbiological composition of the biological product for cultivation of *Lotus corniculatus* 94
- N. E. Zavyalova, I. G. Shirokikh, A. I. Kosolapov, A. A. Shirokikh* Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Pre-Urals under conditions of different use and application of mineral fertilizers102

SOCIAL ECOLOGY

- I. Yu. Trushkova, T. Ya. Ashikhmina, L. V. Kondakova* Ethnoecology of the Slavic World: application significance on the Eurasian space111
- M. A. Kostenko, O. V. Popova, M. Lutovac* "Smart" state regulation in the sphere of environmental protection and nature management..... 116
- I. A. Grebnev* Problems of state regulation of the organization of protection zones for hunting resources122

Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор)

© 2019. В. К. Шитиков, д. б. н., с. н. с.,
Т. Д. Зинченко, д. б. н., профессор, зав. лабораторией,
Институт экологии Волжского бассейна РАН,
445003, Россия, Самарская обл., Тольятти, ул. Комзина, 10,
e-mail: stok1946@gmail.com

Современный подход к изучению экологии сообществ предполагает интеграцию и совместную обработку больших массивов наблюдений. При этом обычно привлекаются разнообразные показатели (популяционные, фенотипические, генетические, химические, ландшафтно-географические), которые характеризуются значительной временной и пространственной изменчивостью. Целью проводимого статистического анализа является выявление значимых связей таксономической структуры с характеристиками биотопов и факторами окружающей среды. В его основе обычно лежат многомерные методы, позволяющие выполнять оптимальное проецирование данных с большим числом переменных в пространствах с малой размерностью.

В статье подробно рассматривается эволюция алгоритмов многомерного анализа, начиная с классической непрямой ординации на основе главных компонент (PCA) до современных интегрированных симметричных методов, нашедших применение в *omics*-технологиях. Выделяется класс алгоритмов, основанных на вычислении матриц дистанций, таких как метрическое (PCoA) и неметрическое (NMDS) многомерное шкалирование, а также рассматриваются достоинства и недостатки их использования. Обсуждается зависимость результатов анализа избыточности (RDA) и канонического анализа соответствий (CCA) от характера распределения исходных данных и даются рекомендации по их предварительной трансформации.

Показана роль таких симметричных методов, как двухблочный алгоритм частных наименьших квадратов (2B-PLS) и анализ совместной инерции (CIA), которые путём разложения по осям многомерной ковариации позволяют установить, какие виды из разных комплексов наблюдений в наибольшей мере ассоциированы друг с другом. Прокрустов анализ (PCIA) широко используется для выявления изменений видового состава изучаемого региона до и после некоторого события (например, антропогенного воздействия). Обобщённые алгоритмы прокрустова и канонического анализа (GPA, RGCCA, DIABLO) работают с большим числом таблиц и позволяют исследовать динамику структуры сообществ за несколько последовательных периодов времени, а также наилучшим образом сформировать консенсусную конфигурацию.

Даны ссылки на многочисленные примеры использования методов ординации в отечественной и зарубежной литературе. Показаны основные перспективы развития многомерных методов в экологии сообществ.

Ключевые слова: многомерная ординация, анализ главных компонент, анализ соответствий, неметрическое шкалирование, канонический анализ, двухблочные алгоритмы, прокрустов анализ, анализ совместной инерции.

Multivariate statistical analysis of ecological communities (review)

© 2019. V. K. Shitikov ORCID: 0000-0002-8385-1913*
T. D. Zinchenko ORCID: 0000-0002-3808-4700*
Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences,
10, Komzina St., Togliatti, Samara Region, Russia, 445003,
e-mail: stok1946@gmail.com

The modern approach to the study of communities' ecology involves the integration and joint processing of large arrays of observations. This usually involves a variety of indicators (population, phenotypic, genetic, environmental, chemical, landscape and geographical) which are characterized by significant temporal and spatial variability. The purpose of the analysis is to identify significant statistical relationships of the taxonomic structure with the characteristics of biotopes and environmental factors. It is based on multivariate methods that allow optimal projection of data with a large number of variables into low-dimensional spaces.

The article focuses on the evolution of algorithms for multivariate analysis, starting with the classic unconstrained ordination based on principal components (PCA) up to modern integrated symmetric methods used in *omics* technologies. A class of algorithms, such as metric (PCoA) and non-metric (NMDS) multidimensional scaling, based on the calculation

of distance matrices, is distinguished and the advantages and disadvantages of their use are considered. The dependence of the results of redundancy analysis (RDA) and canonical correspondence analysis (CCA) on the distribution law of the empirical data is discussed and recommendations for their preliminary transformation are given.

It is shown the role of such symmetric methods as the two-block algorithm of partial least squares (2B-PLS) and the co-inertia analysis (CIA), which allow to establish by decomposition on axes of multidimensional covariations what species from different complexes of observations are most associated among themselves. Procrustean analysis (PCIA) can be widely used to identify changes in the species composition of the study region before and after some event (e.g., anthropogenic impact). Generalized Procrustean algorithms and canonical analysis (GPA, RGCCA, DIABLO) allow you to work with a large number of tables and explore the dynamics of community structure for several sequential periods of time or to form a consensus configuration by the best way.

References to numerous examples of the use of ordination methods in domestic and foreign literature are given. The main prospects and directions of development of multidimensional methods in relation to the ecology of communities are shown.

Keywords: multivariate ordination, principal component analysis, correspondence analysis, non-metric scaling, canonical analysis, two-block algorithms, Procrustean analysis, co-inertia analysis.

Современный подход к изучению экосистем основан на статистическом анализе множества разнообразных факторов (популяционных, фенотипических, генетических, химических, ландшафтно-географических), которые характеризуются значительной временной и пространственной изменчивостью, обусловленной сезонными, климатическими, антропогенными или иными причинами. Основными задачами анализа экологии сообществ являются оценка значимости межвидовых связей внутри ассоциаций взаимодействующих организмов и выявление механизмов воздействия всей совокупности внешних факторов на структурно-функциональные особенности изучаемых биоценозов [1]. Конечная цель исследования – прогноз динамики развития экосистем (с точки зрения повышения продуктивности и разнообразия) при различных сценариях природоохранной деятельности.

Анализ главных компонент [2] и дискриминантный анализ [3] положили начало широкому применению многомерных статистических исследований в различных сферах науки и техники. С 70-х годов XX века начался активный рост арсенала этих методов и успешная их адаптация к обработке экологических данных [4, 5]. При этом важное место в экологии сообществ заняла **ординация** – совокупность методов распознавания образов для анализа упорядоченности (нем. *Ordnung*) изучаемых объектов путём их оптимального проецирования в пространство малой размерности [6, 7].

В XXI веке сфера применения алгоритмов многомерного анализа постоянно расширяется. Решаются всё более сложные проблемы количественной оценки соответствия одновременно нескольких многомерных массивов данных, а также вклада взаимодействий между факторами в совокупную дисперсию в услови-

ях мультиколлинеарности переменных. Это обусловило появление группы новых методов, основанных на симметричном анализе ковариаций (*covariance-based methods*), прокрустовом анализе, канонических корреляциях и т. д. [8]. Бурное развитие *omic*-исследований потребовало разработки мощных алгоритмов выделения биомаркеров с использованием латентных структур [9].

Целью настоящей статьи явилась систематизация практических рекомендаций по проведению многомерного статистического анализа данных в экологии сообществ, что аналогично работе [8] в области химической экологии. Главной задачей было обсуждение ключевых концепций отдельных методов, сфер их применения, выявленных достоинств и недостатков, а также особенностей интерпретации получаемых результатов.

Все представленные нами методы реализованы в программном обеспечении свободно распространяемой статистической среды R [10]. Примеры скриптов, позволяющих самостоятельно выполнить основные процедуры многомерного анализа, можно найти в работах [8, 11], а детальное описание используемого математического аппарата – в монографии [12].

Классификация методов ординации и интерпретация результатов

Все методы многомерной ординации сводятся к синтезу некоей оптимальной информационной структуры, состоящей из осей новых латентных переменных, которые наилучшим образом «объясняют» общую вариацию набора данных. Поскольку 2–3 главных оси концентрируют основную долю дисперсии и являются ортогональными, то появляется возможность визуализации многомерного

облака точек, отображая их, например, на плоскости с минимальными искажениями при проецировании.

В общем случае ординация выполняется с использованием одной или нескольких таблиц с одинаковым числом строк, представляющих объекты, на которых проводились наблюдения (местообитания, биотопы, створы рек, временные периоды и проч.). Основной является таблица, которая описывает изучаемое экологическое сообщество и в своих столбцах содержит значения популяционной плотности того или иного вида, обнаруженного в каждом местообитании (матрица **Y**). Для каждой пары строк матрицы наблюдений **Y** могут быть рассчитаны расстояния в многомерном пространстве видов, которые составляют матрицу дистанций **D**. Наконец, для каждого местообитания могут быть определены значения параллельно измеряемых внешних абиотических факторов (матрица **X**). Основное различие между отдельными многомерными методами заключается в том, сколько и какие матрицы исходных данных используются в анализе.

Непрямая или «необъяснённая» ординация (*unconstrained ordination*) выполняется с использованием только одной матрицы **Y** «виды – местообитания» и ставит своей целью получить отображение в ортогональной системе координат структурных закономерностей изучаемого сообщества в форме графических проекций распределения популяций по биотопам. Результатом ординации обычно является совмещённая диаграмма видов и/или местообитаний в координатах двух главных осей, на которой обычно легко выделить кластеры этих объектов, оценить хорошо интерпретируемые закономерности взаимосвязей между выделенными группами или сравнить ординационные графики за разные периоды времени.

Прямая или объяснённая (*constrained*) ординация ставит своей целью связать внутреннюю изменчивость видовой структуры сообщества **Y** с теми или иными факторами внешних воздействий **X**. Концептуально эта форма многомерного анализа, называемая канонической [13], рассматривается как расширение идей регрессионного анализа для моделирования многомерного отклика $Y = f(X)$ при одновременном использовании алгоритмов редукции данных. Выполнение прямой ординации для интерпретации всегда более предпочтительно, но требует сбора необходимой исходной информации. Следует уточнить, что непрямая ординация всегда является одним из этапов прямого анализа, поэтому их нельзя

противопоставлять ни в методическом, ни в вычислительном аспекте.

Результатом прямой ординации является проведение на ординационной диаграмме дополнительных осей («стрелок»): каждая из них соответствует одному из внешних факторов среды из матрицы **X**, а её длина отражает уровень воздействия на структуру экологического сообщества. Интерпретация ординационных диаграмм основана на понятии *корреляционного круга*: угол между двумя стрелками факторов (или между стрелкой и осью главных координат) указывает на величину корреляции между этими двумя переменными. Аналогичную оценку корреляций можно выполнить для каждого вида или местообитания, если мысленно соединить стрелкой соответствующую точку с началом координат. Чем ближе друг к другу концы сравниваемых стрелок, тем теснее связь между соответствующими объектами и/или переменными [14].

Если прямая ординация является асимметричным анализом (т. е. выполняется поиск зависимости **Y** от **X**, но не наоборот), то разработаны методы анализа, совершенно равноправного по отношению к обоим наборам данных, и с этой точки зрения названного *симметричным*. Если на вход алгоритма подаются две матрицы типа **Y** «виды – местообитания», то их можно сопоставить между собой, оценив степень расхождений одних и тех же точек, и отобразить эти изменения на специальной ординационной диаграмме. Таким образом, в частности, можно оценить модификацию видового состава одного и того же региона до и после некоторого события (например, антропогенного воздействия). Обобщённые алгоритмы прокрустова и канонического анализа позволяют работать с большим числом таблиц и исследовать динамику структуры сообществ за несколько последовательных периодов времени.

В таблице приведена сводка наиболее известных многомерных методов статистического анализа, широко используемых в экологии, генетике и биохимии. Полностью библиографические описания приведены в источнике [8].

Непрямая и прямая ординации

Классическими методами непрямого ординации являются анализ главных компонент и анализ соответствий, использующие непосредственно таблицы обилия видов **Y**, а также два алгоритма многомерного шкалирования, основанные на предварительно рассчитывае-

Обзор многомерных методов статистического анализа
Overview of multivariate statistical methods of analyses

Тип анализа Type of analyses	Данные Data sets	Аббревиатура Abbreviations	Наименование метода, авторы, год Name of method, authors, year
Непрямая ординация / Unconstrained ordination	Y	PCA	Анализ главных компонент / Principal Component Analysis – Goodall, 1954 [15]
		CA	Анализ соответствий / Correspondence Analysis – Hill, 1973 [16]
		DCA	Анализ соответствий с удалённой «аркой» / Detrended Correspondence Analysis – Hill, Gauch, 1979 [17]
	D	PCoA (MDS)	Анализ главных координат = Метрическое многомерное шкалирование / Principal Coordinate Analysis = Metric Multidimensional Scaling – Gower, 1971 [18]
		NMDS	Неметрическое многомерное шкалирование / Non-metric Multidimensional Scaling – Anderson, 1971 [19]
Прямая ординация / Constrained ordination	X, Y	CCA	Канонический анализ соответствий / Canonical Correspondence Analysis – ter Braak, 1986 [20]
		RDA	Анализ избыточности / Redundancy Analysis – Rao, 1964 [21]
	X, D	db-RDA	Анализ избыточности, основанный на дистанциях / Distance-based Redundancy Analysis – Legendre, Anderson, 1999 [22]
	X, Y > 2	RGCCA	Обобщённый канонический корреляционный анализ с регуляризацией / Regularized Generalized Canonical Correlation Analysis – Tenenhaus, Tenenhaus, 2011 [23]
Дискриминантный анализ и PLS-регрессия / Discriminant Analysis and PLS-regression	X, Y	LDA	Линейный (канонический) дискриминантный анализ / Linear (Canonical) Discriminant Analysis – Fisher, 1936 [3]
		PLS	Регрессия с использованием частных наименьших квадратов = проецирования латентных структур / Partial Least Squares = Projection to Latent Structures – Wold et al., 1983 [24]
		OPLS-DA	Дискриминантный ортогональный анализ методом PLS / Orthogonal Partial Least Squares Discriminant Analysis – Bylesjö et al., 2006 [25]
		2B-PLS	Двублочный метод частных наименьших квадратов / Two-Block Partial Least Square – Sampson et al., 1989 [26]
	X, Y > 2	DIABLO	Интегрированный анализ данных с использованием латентных структур / Data Integration Analysis for Biomarker discovery using a Latent component for Omics studies – Singh et al., 2016 [27]
Дисперсионный анализ ANOVA	X, Y	ANOVA-PCA	Многомерный метод дисперсионного анализа с использованием главных компонент / ANOVA-Principal Component Analysis – Harrington et al., 2005 [28]
		rMANOVA	Многомерный ANOVA с регуляризацией / Regularized Multivariate ANOVA – Engel et al., 2015 [29]
Анализ совместной инерции / Co-Inertia Analysis	X, Y	CIA	Анализ совместной инерции / Co-inertia Analysis – Dolédec, Chessel, 1994 [30]
		PCIA	Прокрустовый анализ совместной инерции / Procrustean Co-inertia Analysis – Dray et al., 2003 [21]
	X, Y > 2	MCIA	Множественный анализ совместной инерции / Multiple Co-inertia Analysis – Chessel, Hanafi, 1996 [32]
		GPA	Обобщенный прокрустовый анализ / Generalized Procrustes analysis – Gower, 1975 [33]

Примечание: Y – таблица популяционной плотности видов; D – матрица дистанций, X – таблица факторов среды.
Note: Y – data set of abundance values of species; D – distance matrix, X – data set of environmental variables.

мой матрице дистанций D . Все они выполняют примерно одну и ту же задачу: сформировать в многомерном пространстве исходных данных новые оси оптимального проецирования и представить обобщённую информацию о видовой структуре сообщества в максимально компактной и удобной для визуализации форме. Выбор конкретного метода зависит, как правило, от характера решаемой биологической проблемы и статистических особенностей распределения данных в матрице Y .

Анализ главных компонент PCA [2, 15] работает корректно, если показатели обилия видов имеют приблизительно нормальное (по крайней мере, симметричное) распределение и связаны между собой линейными отношениями. Большое количество нулевых значений, характерное для многовидовых ассоциаций, сильно вредит достоверности результатов анализа.

Факториальный *анализ соответствий* CA [8, 16] работает с таблицами сопряжённости, каждая клетка которых содержит нестандартизованные частоты (число экземпляров каждого вида) или метки присутствия-отсутствия вида 0/1. При большом числе видов, характерном для многих экологических сообществ, расстояния между точками в пространстве, образуемом осями соответствия CA, могут быть серьёзно искажены по сравнению с фактическими расстояниями между объектами в исходной таблице данных. Разработаны методы компенсации таких искажений, например, «эффекта арки» [17], но они попутно могут «сглаживать» и реально существующие зависимости.

Методы PCA и CA непосредственно основаны на эмпирических таблицах популяционной плотности и используются для сравнительной оценки значимости отдельных видов. Однако, если задача ограничена оценкой общего видового сходства, пренебрегая при этом ролью отдельных таксонов, то целесообразно использовать методы, основанные на матрице расстояний D . Они не требуют явных предположений о характере распределения данных и формируют стабильные, хорошо интерпретируемые диаграммы.

Определённой проблемой использования таких методов как *анализ главных координат* (PCoA) [12, 18] и *неметрического многомерного шкалирования* (NMDS) [19] является отсутствие общепринятой методики выбора формулы для оценки расстояний. По результатам проведённого анализа [14, 34] при формировании матрицы дистанций можно

порекомендовать для количественных данных меру сходства Брея–Кёртиса или её «бинарный аналог» – коэффициент Сьёренсена для качественных данных.

Такие методы прямой ординации как *анализ избыточности* (RDA) [13] и *канонический анализ соответствий* (CCA) [20] формируют модель зависимости многомерного отклика Y от набора количественных независимых переменных X . Вначале многомерная изменчивость данных видовой структуры Y разлагается на две составляющие: (а) объясняемую вариацию, вызываемую влиянием внешних переменных, и (б) остаточную или необъясненную дисперсию. Далее реализуются два отдельных анализа, формирующих оси латентных координат в направлении максимума обеих оценок дисперсий: PCA в случае RDA или CA в случае CCA. Если массив обилия видов не отвечает предположениям, постулируемым для этих методов, то его рекомендуется преобразовать в матрицу D и использовать *анализ избыточности на основе матрицы расстояний* (db-RDA) [22].

Дискриминантный анализ с использованием регрессии на основе *частных наименьших квадратов* PLS-DA [24] выполняется, если массив X состоит из одной качественной переменной (группирующего фактора). В отличие от классического дискриминантного анализа, алгоритм позволяет обрабатывать большое количество коррелированных переменных (больше, чем число объектов). Полученная модель может выполнять прогнозирование, т. е. рассчитывать вероятности отнесения произвольного объекта к каждой из групп.

Симметричный анализ двух или нескольких матриц

Прокрустовый анализ совместной инерции PCIA [31] сравнивает две матрицы сообществ с произвольным составом видов, но с одинаковым набором местообитаний, либо две ординации, выполненные отдельно по каждой таблице. На сформированной факториальной плоскости, состоящей из двух осей, каждый объект отображается двумя точками, соединёнными стрелкой, обозначающей переход биотопа из начального состояния в конечное. Чем короче стрелки на диаграмме, тем больше это указывает на совпадение структуры сообществ, описанных двумя таблицами.

Обобщённый прокрустовый анализ GPA [33] обрабатывает несколько матриц со-

обществ с произвольным составом видов, но с одинаковым набором местообитаний. Цель анализа состоит в том, чтобы наилучшим образом сформировать *консенсусную конфигурацию*, т. е. «среднюю» из частных ординаций, соответствующих каждой таблице.

Двухблочный метод частных наименьших квадратов 2B-PLS [26] и *анализ совместной инерции* CIA [30] используются для анализа соответствия между двумя матрицами сообществ с произвольным составом видов, но с одинаковым набором местообитаний. Методы формируют информационную структуру (т. е. набор латентных осей), которая оптимально ориентирована относительно многомерной ковариации между двумя таблицами.

Обобщённый канонический корреляционный анализ с регуляризацией RGCCA [23] и *интегрированный анализ данных* с использованием латентных структур DIABLO [27, 32] применяется для обобщения информации из несколько матриц сообществ с произвольным составом видов, но одинаковым набором местообитаний. Цель анализа чаще всего состоит в том, чтобы определить, какие виды из разных таблиц в наибольшей мере ассоциированы между собой.

Заключение

Многомерные методы ординации, описанные выше, обеспечивают эффективное решение трёх важнейших задач в экологии сообществ: (а) идентификацию экологических градиентов или биологически значимых кластеров, объединяющих местообитания и таксоны организмов, составляющих изучаемое сообщество; (б) выделение основных внешних факторов, определяющих изменчивость структуры сообществ; (в) сопоставление двух или нескольких массивов данных, содержащих описания изучаемой экосистемы, сделанных в разное время или с использованием разных таксономических групп, с оценкой статистической значимости имеющих структурных изменений.

Однако большое количество представленных выше статистических методов создают значительную неопределённость в выборе оптимальной стратегии анализа, чему способствуют «вводящие в заблуждение рекомендации и ошибочные обобщения относительной эффективности доступных многомерных методов...» [7]. Например, не всегда оправдано негативное отношение некоторых авторов к неметрическому многомерному шкалированию (NMDS), который, как показывает опыт [14],

является наиболее устойчивым и интерпретируемым методом ординации в исследованиях по экологии речных сообществ. За последнее время развивается система современных статистических тестов, позволяющих выполнять количественную проверку достоверности построенных моделей с последующей селекцией лучших из них. Использование методов Монте-Карло, рандомизации и кросс-проверки, которые остались за рамками нашего обзора, позволяют придать самому понятию «заблуждение» более корректный доказательный смысл [11, 35].

Современные планы экспериментальных и природных исследований всё больше приобретают междисциплинарный характер и предполагают тесное взаимодействие экологов, генетиков, химиков и биостатистиков. В этих условиях роль многомерных методов, позволяющих вести обработку массивов информации с большим числом разнородных переменных становится очевидной и приоритетной.

References

1. Rozenberg G.S. Introduction to the theoretical ecology (in two volumes). Togliatty: Kassandra, 2013. V. 1. 556 p. V. 2. 445 p. (in Russian).
2. Hotelling H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components // Journal of Educational Psychology. 1933. V. 24. P. 417–441. doi: 10.1037/h0071325
3. Fisher R.A. The use of multiple measurements in taxonomic problems // Annals of Eugenics. 1936. V. 7. P. 179–188. doi: 10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x
4. Digby P.G.N., Kempton R.A. Multivariate analysis of ecological communities. London (UK): Chapman and Hall, 1987. 206 p.
5. Jongman R.H.G., ter Braak C.J.F., van Tongeren O.F.R. Data analysis in community and landscape ecology. Wageningen (The Netherlands): Pudoc, 1987. 299 p.
6. Orloci L. Geometric models in ecology. I. The theory and application of some ordination methods // Jour. Ecol. 1966. V. 54. P. 193–215. doi: 10.2307/2257667.
7. Kenkel N.C. On selecting an appropriate multivariate analysis // Canadian Journal of Plant Science. 2006. V. 86. P. 663–676. doi: 10.4141/P05-164.
8. Hervé M.R., Nicolè F., Lê Cao K.A. Multivariate analysis of multiple datasets: a practical guide for chemical ecology // Journal of Chemical Ecology. 2018. V. 44. P. 215–234. doi: 10.1007/s10886-018-0932-6.
9. Meng C., Zeleznik O.A., Thallinger G.G., Kuster B., Gholami A.M., Culhane A.C. Dimension reduction techniques for the integrative analysis of multi-omics data // Briefings in Bioinformatics. 2016. V. 17. P. 628–641. doi: 10.1093/bib/bbv108.

10. Rohart F., Gautier B., Singh A., Lê Cao K.-A. mixOmics: An R package for 'omics feature selection and multiple data integration // *PLoS Comput. Biol.* 2017. V. 13. No. 11. doi: 10.1371/journal.pcbi.1005752.
11. Shitikov V.K., Mastitsky S.E. Classification, regression and other Data Mining algorithms using R. E-book, 2017. 351 p. [Internet resource] <https://stok1946.blogspot.com/> (Accessed: 24.07.2018) (in Russian).
12. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier Sci. BV, 2012. 1006 p.
13. Ter Braak C.J.F. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods // *Ecoscience*. 1994. V. 1. P. 127–140. doi: 10.1080/11956860.
14. Shitikov V.K., Zinchenko T.D., Rozenberg G.S. Macroecology of river communities: concepts, methods, models. Togliatti: Cassandra, 2012. 257 p. (in Russian).
15. Goodall D.W. Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis // *Austral. J. Bot.* 1954. V. 2. P. 304–324. doi: 10.1071/BT9540304.
16. Hill M.O. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination // *Journal of Ecology*. 1973. V. 61. P. 237–249. doi: 10.2307/2258931.
17. Hill M.O., Gauch H.G. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique // *Vegetatio*. 1980. V. 42. P. 47–58. doi: 10.1007/BF00048870.
18. Gower J.C. Statistical methods of comparing different multivariate analyses of the same data // *Mathematics in the archaeological and historical sciences* / Ed. P. Tautu. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1971. P. 138–149.
19. Anderson A.J.B. Ordination methods in ecology // *Journal of Ecology*. 1971. V. 59. P. 713–726. doi: 10.2307/2258135.
20. ter Braak C.J. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis // *Ecology*. 1986. V. 67. P. 1167–1179. doi: 10.2307/1938672.
21. Rao C.R. The use and interpretation of principal component analysis in applied research // *Sankhya*. 1964. Ser. A. V. 26. P. 329–358.
22. Legendre P., Anderson M.J. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments // *Ecological Monographs*. 1999. V. 69. P. 1–24. doi: 10.1890/0012-9615(1999)069[0001:DBRATM]2.0.CO;2.
23. Tenenhaus A., Tenenhaus M. Regularized generalized canonical correlation analysis // *Psychometrika*. 2011. V. 76. P. 257–284. doi: 10.1007/s11336-011-9206-8.
24. Wold H. Partial least squares // *Encyclopedia of statistical sciences* / Eds. S. Kotz, N. Johnson. New York: Wiley, 1985. P. 581–591.
25. Bylesjö M., Rantalainen M., Cloarec O., Nicholson J.K., Holmes E., Trygg J. OPLS discriminant analysis: combining the strengths of PLS-DA and SIMCA classification // *Journal of Chemometrics*. 2006. V. 20. P. 341–351. doi: 10.1002/cem.1006.
26. Sampson P.D., Streissguth A.P., Barr H.M., Bookstein F.L. Neurobehavioral effects of prenatal alcohol: part II. Partial least squares analysis // *Neurotoxicology and Teratology*. 1989. V. 11. P. 477–491. doi: 10.1016/0892-0362(89)90025-1.
27. Singh A., Gautier B., Shannon C.P., Vacher M., Rohart F., Tebutt S.J., Le Cao K.-A. DIABLO-an integrative, multi-omics, multivariate method for multi-group classification // *BioRxiv*. 2016. No. 067611. 50 p. doi: 10.1101/067611.
28. Harrington P.B., Vieira N.E., Espinoza J., Nien J.K., Romero R., Yergey A.L. Analysis of variance – principal component analysis: a soft tool for proteomic discovery // *Analytica Chimica Acta*. 2005. V. 544. P. 118–127. doi: 10.1016/j.aca.2005.02.042.
29. Engel J., Blanchet L., Bloemen B., van den Heuvel L.P., Engelke U.H.F., Wevers R.A., Buydens L.M.C. Regularized MANOVA (rMANOVA) in untargeted metabolomics // *Analytica Chimica Acta*. 2015. V. 899. P. 1–12. doi: 10.1016/j.aca.2015.06.042.
30. Dolédec S., Chessel D. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species–environment relationships // *Freshwater Biology*. 1994. V. 31. P. 277–294. doi: 10.1111/j.1365-2427.1994.tb01741.x.
31. Dray S., Chessel D., Thioulouse J. Procrustean co-inertia analysis for the linking of multivariate datasets // *Écoscience*. 2003. V. 10. P. 110–119. doi: 10.1080/11956860.2003.11682757.
32. Chessel D., Hanafi M. Analyses de la co-inertie de K nuages de points // *Revue de statistique appliquée*. 1996. V. 44. P. 35–60.
33. Gower J.C. Generalized procrustes analysis // *Psychometrika*. 1975. V. 40. P. 33–51. doi: 10.1007/BF02291478.
34. Shitikov V.K., Zinchenko T.D., Abrosimova E.V. Statistical analysis of the results of multivariate ordination as exemplified by data on river benthic communities // *Russian Journal of Ecology*. 2012. V. 43. P. 137–141. doi: 10.1134/S1067413612010146.
35. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Randomization and bootstrap: a statistical analysis in biology and ecology with R use. Togliatti: Cassandra, 2014. 314 p. (in Russian).

Environmental aspects of sulfate turpentine refining (review)

© 2019. E. S. Izmet'sev ORCID: 0000-0001-5698-6292, S. A. Rubtsova ORCID: 0000-0003-1224-8751, A. V. Kutchin ORCID: 0000-0003-4322-7961, Institute of Chemistry of Federal Research Centre "Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", 48, Pervomaiskaya St., Syktyvkar, Russia, 167000, e-mail: evgeniyizmetsev@rambler.ru

The burning of sulfate turpentine, formed as a by-product of pulp and paper mills during the kraft pulping process, causes irreparable environmental damage, as it contains a large number of toxic sulfur-containing compounds generating sulfur dioxide when being combusted. It is for this reason that the search for methods of removing sulfur compounds from the sulfate turpentine, which can make the purified product a valuable source of terpene compounds suitable for industrial processing, is being actively pursued. The problem of complex refinement and rational utilization of turpentine is mainly to establish a waste-free use of feedstock for obtaining useful products. However, the lack of selectivity in the conversion of terpenes which are the main components of turpentine, and the complexity of their separation hinder the development of effective methods for refining turpentine. In this regard, the refined turpentine is used mainly as a solvent for varnishes and paints. At the same time, it is a valuable biofuel, capable, with proper approach, of partially replacing fuels produced from mineral oil. Terpenes from turpentine and their derivatives are widely used in the organic synthesis of biologically active substances, antioxidants, pesticides, herbicides, in the perfume industry for producing fragrances (linalool, geraniol, nerol, citronellol), and also for obtaining compounds with a pronounced insecticidal, repellent, antimicrobial, anti-inflammatory, hypoglycemic and other types of biological activity. Sulfur-containing compounds can achieve widespread use in organic synthesis to manufacture solvents, ion-exchange resins, dyes, in the synthesis of detergents and reagents for the chemical industry (sulfochlorides, thiosulfonates, sulfoxides).

Keywords: sulfate turpentine, α - and β -pinenes, sulfur compounds, terpenes, terpenoids.

УДК 547-305.1+ 630.86:676.085.4

Экологические аспекты очистки сульфатного скипидара

© 2019. Е. С. Изметьев, к. х. н., н. с., С. А. Рубцова, д. х. н., с. н. с., врио директора, А. В. Кучин, д. х. н., чл.-корр. РАН, Институт химии Федерального исследовательского центра «Кomi научный центр Уральского отделения Российской академии наук», 167000, Россия, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 48, e-mail: evgeniyizmetsev@rambler.ru

Сжигание сульфатного скипидара, образующегося в качестве побочного продукта целлюлозно-бумажных комбинатов в ходе сульфатной варки целлюлозы, наносит непоправимый экологический вред окружающей среде, так как он содержит в составе большое количество токсичных серосодержащих соединений, образующихся при горении диоксида серы. Поэтому активно ведутся поиски методов удаления сернистых соединений из состава сульфатного скипидара, способных сделать очищенный продукт пригодным к промышленному использованию.

Проблема комплексной переработки и рационального использования скипидара заключается главным образом в налаживании безотходного использования сырья с целью получения полезных продуктов. Однако отсутствие селективности превращения терпеновых соединений, являющихся основными компонентами скипидара, и сложность их разделения препятствуют разработке эффективных методов переработки скипидара. В связи с этим очищенный скипидар применяется в основном в качестве растворителя для лаков и красок. Терпены и их производные находят широкое применение в органическом синтезе биологически активных веществ, антиоксидантов, пестицидов, гербицидов, в парфюмерной промышленности для получения душистых веществ (линалоол, гераниол, нерол, цитронеллол), для синтеза соединений, обладающих выраженной инсектицидной, репеллентной, антимикробной, противовоспалительной, гипогликемической и другими видами биологической активности, а серосодержащие соединения могут применяться в органическом синтезе для получения растворителей, ионообменных смол, красителей, в синтезе моющих средств и реагентов для химической промышленности (сульфохлоридов, тиолсульфонатов, сульфоксидов).

Ключевые слова: сульфатный скипидар, α - и β -пинен, серосодержащие соединения, терпены, терпеноиды.

Solving the problems of complex processing and rational use of plant raw materials is especially relevant at the present time. Mass forest cutting and transforming it into wood pulp, in addition to the desired product, lead to a number of environmental problems associated with the formation of a significant amount of the by-product of the pulp and paper industry, sulfate turpentine, most of which is not recycled but simply burned. Sulfur compounds from the sulfate turpentine during combustion generate sulfur dioxide, one of the main pollutants being emitted into the atmosphere, which leads to the formation of acid rains and have a negative impact on the environment. The average content of sulfur-containing components in sulfate turpentine in terms of atomic sulfur is 0.03 mass%, but in some cases it can reach 2–6% [1].

The global production of crude sulfate turpentine increased from 165,970 in 2012 to 191,224 million tons in 2016. The global crude sulfate turpentine market is led by North America, capturing about 60.64% of sulfate turpentine production. Europe is the second largest market with 30.04% global production share. In 2023, the production of crude sulfate turpentine is estimated to be 241,724 million tons [2].

Turpentine is a mixture of organic compounds which possess high toxicity (TC_{Lo} inhalation, human = 175 ppm) [3]. When taken orally in an amount of 15–150 mL, turpentine can cause death [4]. The lethal dose depends mainly on the organosulfur compounds content. When in contact with the skin, it causes dermatitis [5]. Systemic toxicity of turpentine leads to the gastrointestinal tract irritation and the central nervous system depression up to the brain and spinal cord atrophy, anemia, reversible kidney failure, tachycardia, behavioral changes, and as well as causes various cancers of such systems as lung, bone marrow, blood (Hodgkin's disease, leukemia, lymphosarcoma), the digestive system. Additionally, a pattern of neuroblastoma development in children whose parents (more often fathers) were exposed to chemicals of turpentine production was found [4].

The yield of refined sulfate turpentine is approximately 10 kg per ton of pulp and depends primarily on the location and date of the wood harvest as well as the length of the storage period before processing [6]. Significant production of sulfate turpentine and the possibility of removing sulfur compounds allow us to consider it as a large source of terpenes which are a useful feedstock for organic synthesis. But due to the complexity of the composition and the difficulty

of separating the main components of turpentine, many pulp mills still prefer burning it.

The present review is a coverage of the works devoted to the refining sulfate turpentine and the isolation of components that are useful for the preparation of substances with valuable properties.

Chemical composition of sulfate turpentine

Depending on the habitat of conifers and their species, the content of the main turpentine components varies greatly. The average content of α -pinene in turpentine isolated from the pine *Pinus silvestris* growing on the territory of Russia ranges between 55–70%. The share of 3-carene is 15–30%, the amounts of β -pinene (2–7%), dipentene (3–6%), and camphene (\approx 1%) are insignificant [7].

Among other terpenic hydrocarbons found in small quantities in sulfate turpentine, it is worth noting such as tricyclene, β -myrcene, α -terpinene (Fig. 1) [8].

Some compounds isolated from sulfate turpentine, for example, 3-carene and β -pinene, have a high optical purity. The optical purity of α -pinene and dipentene varies greatly depending on the source of turpentine. Camphene and tricyclene are always extracted as racemates [7].

The chemical composition of sulfate turpentine is extremely complex but is mainly represented by monoterpenes. When processing some other species of conifers, depending on their species and habitat, sesquiterpenes, for example, cadinene and caryophyllene, may occur, but their amount is usually insignificant [9].

The turpentine refining and processing

In the process of sulfate cooking, by-products, which are volatile organosulfur compounds (methyl mercaptan and dimethyl sulfide) with a sharp unpleasant odor, are formed by eliminating the methoxy groups of lignin and their reaction with sodium sulfide. Their amount usually reaches 0.03% (in terms of sulfur). These compounds are highly toxic: MPC of CH₃SH in the air is 0.006 mg/m³ [10], MPC of (CH₃)₂S is 0.08 mg/m³ [11]. During processing, methyl mercaptan is partly dimerized by contact with air oxygen, forming dimethyl disulfide. The presence of sulfur-containing compounds in turpentine limits the areas of its synthetic application due to the poisoning of catalysts used in the transformation of terpenic hydrocarbons [1, 6].

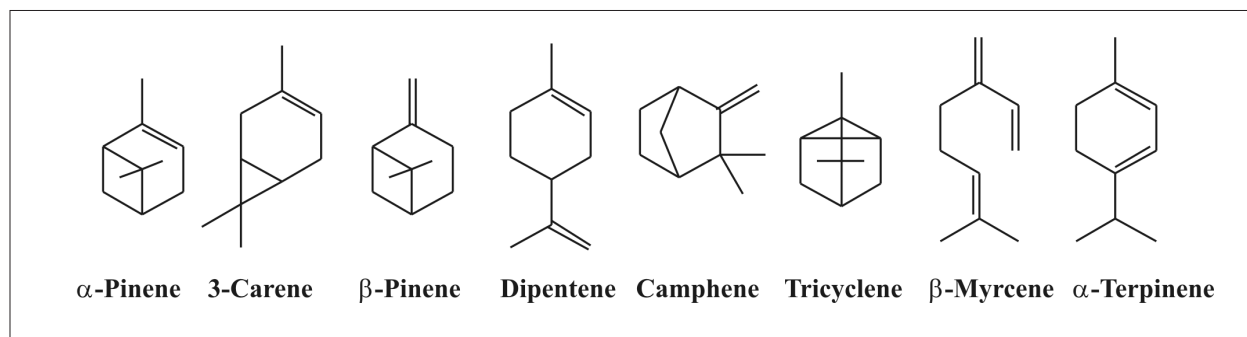


Fig. 1. The main terpenes of sulfate turpentine

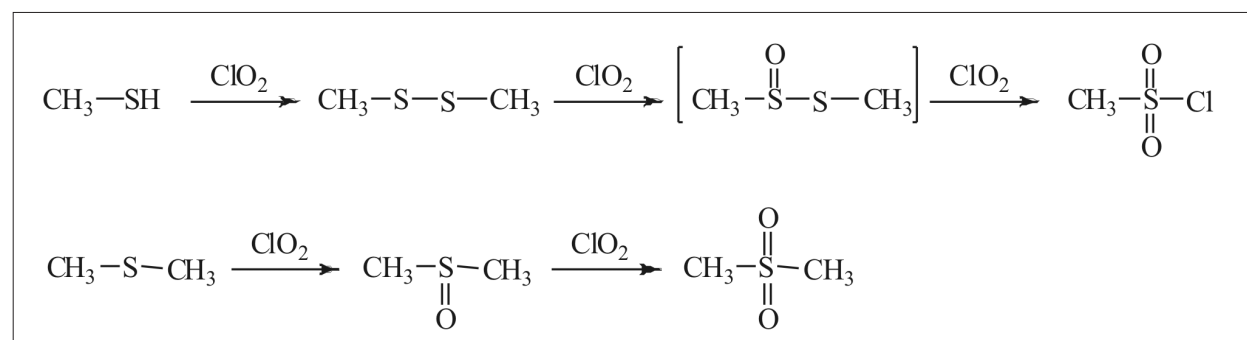


Fig. 2. Oxidation of sulfur compounds from turpentine with chlorine dioxide

To use sulfate turpentine, it is necessary to purify it from sulfur so that its residual content does not exceed 0.005 mass% (TC 13-0281078-36-89). For this purpose, purification methods based on chemical, physical and physicochemical processes are proposed, including rectification (industrial purification method), extraction, application of adsorbents, chemical interaction [12], and distillation with water vapor [13]. Oxidizers such as air oxygen [14–16] and inorganic peroxides [17], treatment with aqueous alkali solutions [18, 19] and other methods are used as chemicals to purify sulfate turpentine from sulfur-containing impurities. A method for refining sulfate turpentine with sodium hypochlorite solution in an acidic medium (pH 3.5–5.0) at a temperature of 10–40 °C for 20–60 min, followed by neutralization with an alkali solution [20], is known. To oxidize sulfur compounds, it has been proposed a way to react them with an aqueous solution of sodium hypochlorite with preliminary removal of the highly volatile sulfur compounds by an inert gas current (for example, nitrogen) at a temperature of 10–50 °C [21]. However, this method was unsuitable for refining turpentine with a high sulfur content. There were also attempts to desulfurize turpentine on nickel-palladium [22] and cobalt-molybdenum [23] catalysts. It should be noted that these methods are either ineffective and do not allow

to reduce the total sulfur content below 0.005 mass % or require additional production costs for obtaining reagents.

The Institute of Chemistry of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the RAS has developed a highly effective method for purifying sulfate turpentine in which chlorine dioxide ClO_2 that is a large-capacity product applied in pulp and paper production for bleaching cellulose is used as an oxidizer [24, 25]. As a result of reacting methyl mercaptan and dimethyl disulfide with ClO_2 , methane sulfonyl chloride [26] or thiosulfonate [27] is formed. Oxidation of dimethyl sulfide leads to the formation of dimethyl sulfoxide and dimethyl sulfone (Fig. 2) [28, 29].

The sulfur compounds of sulfate turpentine isolated in pure form can be used as odorants of natural and liquefied gas. The products formed during their oxidation find application in organic synthesis. Sulfonyl chlorides are widely used in the synthesis of detergents, ion-exchange resins, elastomers, drugs, dyes, herbicides; thiosulfonates possess bactericidal and fungicidal activities. Dimethyl sulfoxide is a universal organic solvent, forms the basis of the medicine “Dimexide” which exhibits an anti-inflammatory effect [30]. Dimethyl sulfone is a part of various dietary supplements for the prevention of osteoarthritis. Its activity against cancer cells was investigated, however, these studies were completed with a

negative result, dimethyl sulfone do not show toxicity, and is almost not metabolized in the human body [31].

After removing sulfur compounds, the composition of sulfate turpentine becomes approximate to the composition of gum turpentine and usable. The turpentine is currently used mainly as a solvent for varnishes and paints [32], and also there are data of using it as an extragent, for example, of gutta-percha from *Eucommia ulmoides* barks [33].

Terpenes and terpenoids find application as high-value chemicals across the food, cosmetic, fragrance, pharmaceutical and biotechnology industries [34–36].

The presence of double bonds and strained cycles in the structure of terpenic hydrocarbons makes them extremely reactive and enables to use in the addition, alkylation, isomerization, and polymerization reactions [8] which are the main directions of turpentine processing.

It is known that in the presence of acid catalysts, α -pinene and other monoterpene hydrocarbons, which are part of turpentine, undergo significant isomerization transformations. The composition of the isomerization products strongly depends on conditions under which the process is performed. Therefore, changing the conditions can direct the same reaction in different pathways [7].

The isomerization of terpenes can also occur in the absence of catalysts. When sulfate turpentine is heated (533–693 K) at a pressure (40–280 atm.), its isomerization takes place to form a mixture with variable composition which mainly

depends on the temperature. As the temperature in the mixture increases, the amount of α -pinene decreases until it disappears completely. At the same time, the content of dipentene, α - and β -pyronenes, alloocymenes increases.

Among the other thermolysis products, there found volatile compounds such as di- and monoalkylbenzenes (methyl, ethyl, isopropyl, isopropenyl), trimethylcycloheptadienes and trimethylcycloheptatrienes, *p*- and *m*-menthadienes (terpinenes, terpinolene, fellandrenes), dimethyloctadienes, turpentine monoterpenes (camphene, fenchene, tricyclene), dimeric products (C17–C20) [37] (Fig. 3).

The menthadienes, in contrast to turpentine, have a better solvent power. They are oxidized by air oxygen to form colorless products and for this reason are more promising as solvents for paint and varnish materials. In addition, conjugated menthadienes can relatively easy react with various dienophiles to form Diels-Alder products which are used effectively to improve the quality of some sealants and rubbers [38].

In industry, most of α -pinene is isomerized on TiO_2 at 100 °C to form a mixture of products with a total yield of 75–80% in which the main components are limonene and camphene [39]. Camphene is a widely employed fragrance in perfumery, a precursor to camphor, and an additive in the formulation of insect repellents, explosives and plastics [40–42]. Limonene finds large scale application in the perfume and pharmaceutical industries as a flavoring and antimicrobial agent [42, 43].

Titanium catalysts for the isomerization of turpentine, however, do not exhibit a high

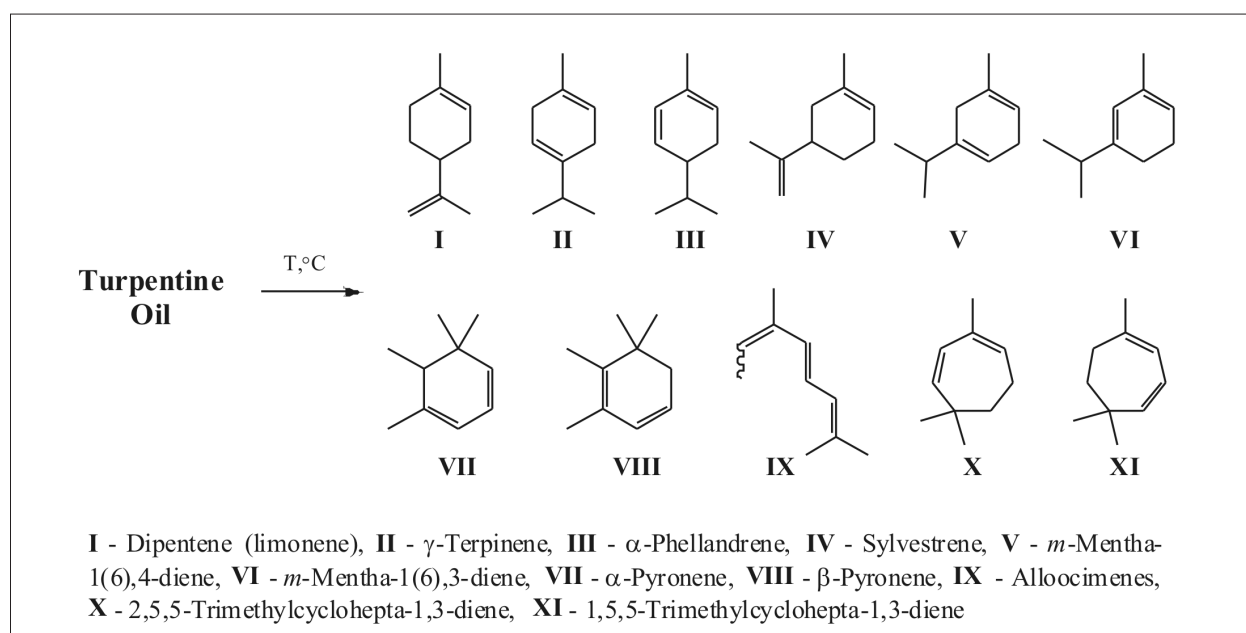


Fig. 3. Major products of turpentine thermolysis

selectivity. Therefore, alternative catalysts such as clays, zeolites, sulfated zirconia, heteropolyacids, which are able to increase the selectivity of isomerization and the conversion of α -pinene, were proposed [39].

A very effective direction of processing turpentine is the production of polyterpene resins, both liquid and solid. The liquid polyterpene resins are used as lubricants for fiberglass and added into fat-liquoring agents for treating natural leather products. In addition, they are a part of film-forming compositions for manufacturing dielectrical and varnish-and-paint materials [44].

The main producer of solid polyterpene resins is the USA turpentine enriched with β -pinene as a raw material. Russian turpentine consists mainly of α -pinene, the polymerization of which is difficult due to the peculiarities of the spatial structure. Therefore, the production of high-melting polyterpene resins based upon α -pinene remains a pressing challenge. The polymerization of α -pinene in the presence of Friedel-Crafts catalysts ($\text{AlCl}_3\text{-SbCl}_3$), heteropolyacids ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ and $\text{H}_4\text{SiMo}_{12}\text{O}_{40}$) and Me_3SiCl additives was studied in [45]. It should be noted that the production of high-melting polyterpene resins is greatly facilitated when dipentene obtained by α -pinene isomerization is used as a raw material for the polymerization [46].

Another effective direction of processing turpentine is the acid-catalytic interaction of monoterpenoids, which are part of its composition, with water, alcohols and organic acids. The α -pinene hydration reaction forms the basis for the production of terpineol which possesses effective flotation properties it is also used for the extraction of non-ferrous metals as well as a component of paint-and-varnish compositions [47, 48]. As a result of α -pinene hydration terpin hydrate can also be obtained with a high yield [49], which is used as a substance for the manufacture of medicines and is a starting compound to perfume terpineol [50]. α -Terpineol and its acetate have a pleasant floral odor and possess bactericidal properties, so they find application as soap perfumes, detergents and disinfectants. Terpineol is also used in metallurgy to extract metals from their ores [51]. The preparation of terpineol was studied in [52]. When the hydration of sulfate turpentine in the absence of catalysts at a temperature of 80–85 °C with the addition of a small amount of acetone occurs, terpineol is formed with a yield of 67–77%.

Much attention is paid to the production of turpentine-based fuel, since the reduction of

unsaturated compounds and the opening of rings in terpene molecules leads to the formation of branched hydrocarbons having a structure close to isooctane [53, 54]. The mixture of turpentine and ethanol prior to the beginning of the 19th century was used as a fuel for lighting and was the preferred source of power for internal combustion engines. The attempts to use crude sulfate turpentine as motor fuels after a simple filtration were unsuccessful, leading to fast contamination of the motor oil with metal sulfides and severe corrosion of engine parts [55]. Turpentine has not been used as fuel for almost two centuries because of the limited production and the difficulties caused by its application. However, taking into account the natural advantages of these hydrocarbons, the development of methods for both production and use of terpenes as fuel on an appropriate scale is very convincing.

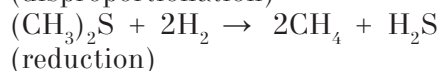
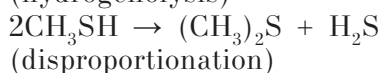
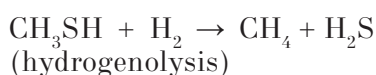
An approach to produce the fuel materials based on α -pinene, limonene, and camphene, which consists in obtaining unsaturated dimeric molecules and their reduction, was proposed in [56, 57]. There found an effective catalyst to synthesize dimeric products with yields up to 90% that is Nafion (fluorine-containing sulfated polymer), whereas acid catalysts, for example, H_2SO_4 , lead to the formation of polymer products [57].

Monoaromatic compounds produced from terpenes are valuable for petrochemical industry [58, 59]. Of these, *p*-cymene is of particular importance as it has potential use in the synthesis of terephthalic acid [40, 44, 60] which is applied in polyester (PET) producing. *p*-Cymene is also used for the synthesis of *p*-cresol [61] and its derivative, 2,6-di-*tert*-butyl-*p*-cresol (BHT), that is a light-resistant antioxidant with a wide range of applications [62]. It comes into use in producing the corresponding hydroperoxide by oxidation with air oxygen, which is an effective initiator for the emulsion copolymerization of butadiene with styrene in the production of appropriate rubbers along with cumene hydroperoxide. *p*-Cymene is also used as a solvent for dyes and varnishes, and as an intermediate for the production of pesticides, fungicides, flavors, and pharmaceuticals [63].

On a large scale, the preparation of *p*-cymene from mono- and bicyclic terpenes has been proposed on metal catalysts such as Pd/C, Pd/ Al_2O_3 [64], Pd/Si [65–67], Pt/C, Cu/ Cr_2O_3 and ZnO₂/ Cr_2O_3 [68]. In [69], zeolites were used to dehydrogenate the terpenes of turpentine, but, as a result of this process, a mixture of *o*-, *m*-, and *p*-cymenes with a total content of up to 25% in the mixture was formed. The

hydrogen released during the dehydrogenation process is able to simultaneously reduce unsaturated compounds represented by limonene, terpinolene, α - and γ -terpinene, menthadiene, and menthene to menthane. At 380 °C, the share of menthane in the reaction mixture reaches 20% (Fig. 4).

The dehydrogenation process, as noted by the authors of the same paper [69], can be used for removing sulfur compounds to avoid the additional treatment of sulfate turpentine in the case of achieving selective formation of cymene. The organic sulfur compounds can also act as hydrogen acceptors as they can undergo hydrogenolysis, disproportionation, and reduction.



By binding the resulting hydrogen, the sulfur compounds, as believed, can increase the selectivity of cymene formation.

Terpenes and terpenoids are widespread in nature and important for maintaining the ecological balance in interspecies relationships. These compounds act as a means of communication between plants, plant communities, plants and insects, affect the intraspecies structure of insect populations (primarily social ones: ants,

bees, and termites) [70–72], participate in the formation of protective systems against enemies, competitors or invasive species [73].

Some terpenic compounds, for example, limonene, terpinolene and α -pinene are natural pheromones of numerous termites. However, the physiological response of insects to other terpenic compounds is possible. For example, the ants *Acanthomyops claviger* respond to citronellol, citronellal and citral, and the mixture of *exo*-brevicommin with β -myrcene attracts *Dendroctonus brevikomis* beetles [74] (Fig. 5). The oxidized with SeO_2 turpentine mainly composed of (-)-borneol and a mixture of (+)-, (-)-1-terpineols, terpinen-4-ol showed a high activity against ticks (*Ixodes ricinus*) [75].

The most complete information on insect pheromones is presented in the review [76].

The use of terpenic compounds in perfumery is associated with having pleasant aromas of most of them. Many of fragrant substances are acyclic monoterpenoids which can be obtained from the cyclic components of sulfate turpentine. One such compound is β -myrcene. The content of β -myrcene in sulfate turpentine is insignificant, but technically, it is easy accessible by short-term heating of turpentine to 400–700 °C. Under such conditions, the selectivity of β -myrcene formation reaches 95%. On the basis of β -myrcene, the fragrances such as linalool, (*R*)-cytronellol, geraniol, and nerol are synthesized (Fig. 3). Their annual production is estimated to be from 4 to 12 thousand tons a year [77].

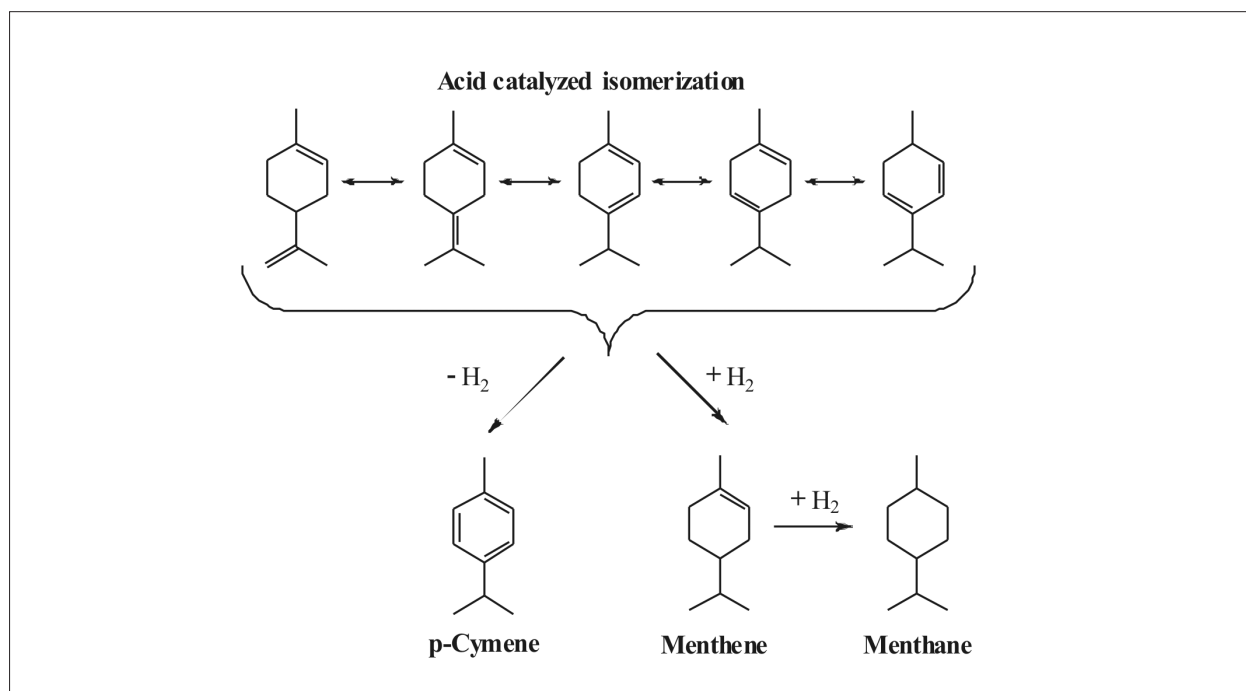


Fig. 4. Usage of dipentenes in *p*-cymene and menthane production

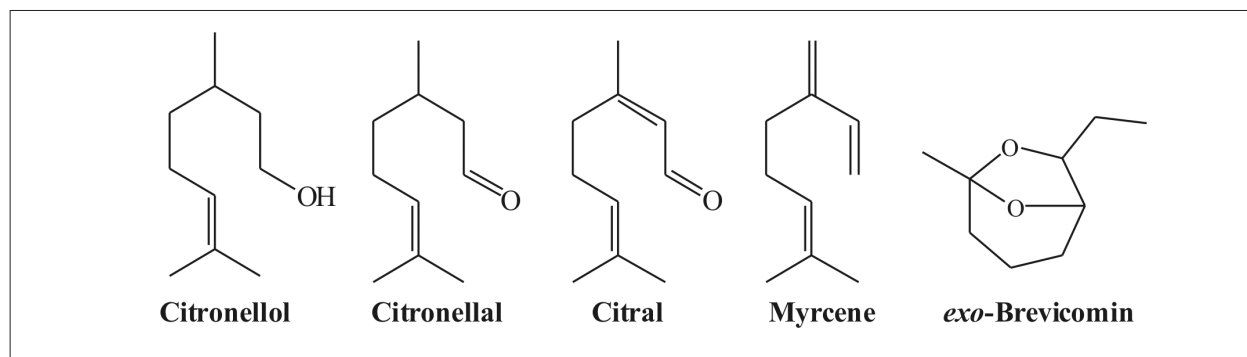


Fig. 5. Some natural pheromones of insects

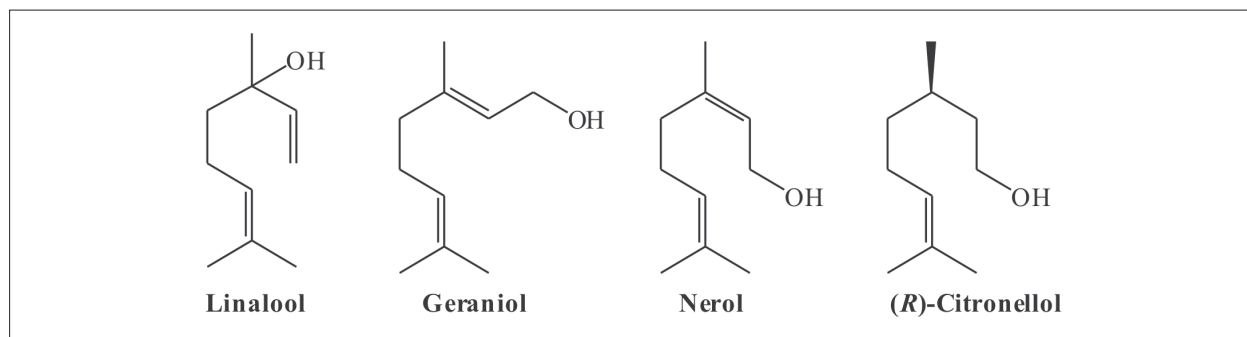


Fig. 6. Fragrances derived from β -myrcene

In summary, sulfate turpentine is the source of many useful substances which are applicable in various fields of industry, agriculture, perfumery and household. The products obtained on the basis of sulfate turpentine are cheaper than synthetically obtained, they require less production costs. The use of natural or semisynthetic products of the terpene series has the main advantage over the synthetic ones – the ability to be involved in the metabolism of bacteria, insects, and plants. This means that there is a high probability that products derived from sulfate turpentine, for example, insecticides, pesticides, will not accumulate in nature.

Biological activity of the main components of turpentine

Turpentine is able to be oxidized by air oxygen, forming a set of oxygen-containing products. The oxidized turpentine exhibits anti-inflammatory activity [78], and its peroxidized form is thought to show a good anti-radical activity [79, 80].

The physiological activity of turpentine, however, is very different from the activity of its individual components, which is associated with the manifestation of a synergistic effect [81].

Studies of pure α -pinene showed the presence of a broad spectrum of biological activity against

various bacteria and fungi. α -Pinene shows activity against the gram-negative bacteria *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Prevotella intermedia*, *Porphyllomonas gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum* [82], *Yersinia enterocolitica* [83], *Salmonella typhi* [83], *Proteus vulgaris* [83, 84], and *Acetobacter* spp. [83]; as well as against the fungi and yeast *Candida tropicalis*, *Candida glabrata*, *Aspergillus* spp. [83], *Penicillium notatum* [83], and others. It also exhibits insecticidal activity [85], activity against *Pediculus humanis capitis* [86] and the bark beetles of the species *Pityogenes bidentatus* [87].

α -Pinene is a non-toxic compound used in medicine to increase the absorption of various chemicals, for example, neuroleptics. It also possesses lipophilic, pesticidal, anticarcinogenic, diuretic, immunostimulating, sedative, anti-inflammatory, hypoglycemic, and other activities [88].

β -Pinene, in contrast to α -pinene, shows a narrower spectrum of biological activity, but it is synthetically more desirable due to its greater reactivity which allows to obtain based on it a larger set of useful products. It exhibits antifungal properties [89], especially against *Candida* spp. [83]. When acting on yeast, β -pinene inhibits mitochondrial respiration, proton pump activity and K^+ transport and also increases membrane fluidity [90]. It possesses moderate

antimicrobial activity, is capable of antiseptic effect on the oral bacterial flora [82] and active against *Staphylococcus aureus* as well as some other gram-positive and gram-negative bacteria [84, 89].

In [91], the antimicrobial activity of the individual enantiomers of both pinenes was studied, and (+) enantiomers were found to be more active. Thus, (+)- α - and (+)- β -pinene are highly active against the fungi *Cryptococcus neoformans*, *Candida albicans*, and *Rhizopus oryzae*, whereas (–)-enantiomers do not possess the corresponding activity against them.

Both pinenes are readily absorbed through the pulmonary system, skin, and intestines, their lethal dose are ranged from 0.5 to 5 g/kg body weight [5]. The primary metabolism of α - and β -pinenes in the mammals is well studied. When ingested, hydroxylation of pinenes occurs with the formation of terpenic pinane and menthane alcohols [92].

Turpentine, as shown in [93], increases the permeability of the skin. This proper can be used to facilitate the penetration of drugs through the cell membranes, what demonstrated by the example of the delivery of fluconazole through the membranes of liposomes and ethosomes.

The biological activity of caranes has been studied worse. 3-Carene is known to be the most toxic terpene contained in turpentine. This hydrocarbon causes the strongest dermatitis, induces bronchoconstriction, stimulates the development of asthma [94].

In summary, having considered the range of useful properties and biological activities of the major components of turpentine, we can conclude that a waste from the pulp and paper production has broad prospects for obtaining new physiologically active substances based on them. The study of the chemistry of semisynthetic functional derivatives of the terpene series in this connection is topical.

Conclusions

The development of effective methods for processing the major components of turpentine, including sulfur compounds, allows to solve a number of environmental problems associated with the release of sulfur dioxide into atmosphere, pollution of water bodies and soils with sewage from turpentine production. This is of paramount importance not only for the development of the wood chemical industry, but also for the forest complex as a whole, as it contributes significantly to the solution of the problem of

rational use of forest resources and the environmental protection.

Prospects for the sulfate turpentine processing mainly depend on the selectivity of the reactions underlying it. The terpenes represented in turpentine have in most cases a related composition of C10 and a structure, so their separation is often difficult. This problem can be partially solved by rectification distillation, but even it does not allow to isolate terpenes with a high purity. Therefore, the search for ways to separate terpenes, and methods for increasing the selectivity of sulfate turpentine processing should be of a high priority.

Terpenes are able to participate in the metabolism of living organisms, this allows them to be used for producing medicines. However, to date, the use of sulfate turpentine for medical purposes is prohibited, as methods for the quantitative removal of sulfur from its composition have not been developed yet. The production of gum turpentine has its drawbacks due to the difficulty of extracting it on an industrial scale, so at a cost it is more expensive than sulfate one. In addition, the industrial gum turpentine production in Russia is not carried out any longer.

Studying these issues can bring turpentine production to a new level, during which both the problem of harmful emissions into the environment and the problem of using turpentine components for creating new biologically active compounds, flavoring agents, pesticides, herbicides, surfactants, antioxidants, etc. will be solved.

This work was financially supported by the Comprehensive Program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 18-3-3-17).

References

1. Kozlov A.I., Bespalov A.V., Grunskiy V.N., Kozlov I.A., Novoselov A.S., Dolinskiy T.I. Purification of sulfate turpentine from organosulfur compounds // *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2009. V. XXIII. No. 2. P. 71–74 (in Russian).
2. Global crude sulfate turpentine market research report 2018 overview, demand and forecast 2023 [Internet resource] <https://www.qymarketstudy.com/report/global-crude-sulfate-turpentine-market-26375> (Accessed: 23.10.2018).
3. The dictionary of substances and their effects / Eds. Richardson M.L., Gangolli S // Royal Society of Chemistry. 1999. V. 7. P. 548.
4. Masten S. Turpentine (turpentine oil, wood turpentine, sulfate turpentine, sulfite turpentine). Toxicological summary for turpentine. North California, 2002. 88 p.

5. Rietschel R.L., Fowler J.F., Fisher A.A. Fisher's Contact Dermatitis 6. Hamilton: BC Decker Inc, 2008. 862 p.
6. Neuenschwander U., Meier E., Hermans I. Peculiarities of β -pinene autoxidation // ChemSusChem. 2014. V. 4. No. 11. P. 1613–1621.
7. Rudakov G.A. Chemistry and technology of camphor. Khimiya i tekhnologiya kamfory. Moskva: Lesnaya promyshlennost, 1976. 208 p. (in Russian).
8. Radbil' A.B. Directions for the qualified use of turpentine // Khimiya rastitelnogo syrya. 2005. No. 1. P. 5–11 (in Russian).
9. Pentegova V.A., Dubovenko Zh.V., Raldugin V.A., Shmidt E.N. Terpenoids of coniferous plants. Novosibirsk: Nauka, 1987. 97 p. (in Russian).
10. GN 2.1.6.2326-08 Maximum permissible concentrations (MPC) pollutants in the atmospheric air of populated areas. Addition No. 4 for GN 2.1.6.1338-03 (in Russian).
11. Handbook of substances. List and codes of substances polluting the atmospheric air [Internet resource] https://voc.integral.ru/index.php?pageNum_voc_records=93&totalRows_voc_records=2443 (Accessed: 02.08.2018) (in Russian).
12. Bogomolov B.D., Sapotnitskiy S.A. Processing of sulfate and sulphite liquors. Moskva: Lesnaya promyshlennost, 1989. 360 p. (in Russian).
13. Gorlovskiy S.I., Rybkina V.V., Panyusheva P.A., Petronio M.A., Raspopina A.E. Method for obtaining turpentine // Patent SU 121893. Application: 614792, 24.12.1958. Date of publication: 01.01.1959. Bull. 16 (in Russian).
14. Fischer K.P., Herbst W., Koehler G., Otto K. Verfahren zum Reinigen von Rohsulfatterpentinoel // Patent DD 148637. Application: 21839180, 10.01.1980. Date of publication: 03.06.1981 (in German).
15. Robert A.C. Refining sulfate turpentine // Patent US 2409614. Application: 02426883, 15.01.1942. Date of publication: 22.10.1946.
16. Radbil' A.B., Starostina E.B., Bogdanov P.E., Ismagilov R.M., Zaikina N.V. Method for production of α -pinene of sulfate turpentine // Patent RU 2108316. Application: 96117766/04, 04.09.1996. Date of publication: 10.04.1998 (in Russian).
17. Tyurmina E.S., Ilichev I.S., Radbil A.B., Semenycheva L.L., Lazarev M.A., Mavrina E.A., Shalashova A.A. Purification of sulfate turpentine raw from sulfur-containing compounds // IVUZ. Lesnoy zhurnal. 2017. No. 1. P. 177–185 (in Russian).
18. Kuchin A.V., Karmanova L.P., Rubtsova S.A., Dorosheva R.I. Method for purification of sulfate turpentine // Patent RU 2061722. Application: 5062046/04, 10.09.1992. Date of publication: 10.06.1992 (in Russian).
19. Zlobin O.V., Pashin V.A., Paderin V.Ya., Kazakov V.K., Goryunova T.G., Smirnova L.I., Gorbunova T.P., Andrushkevich S.I., Troshkin E.S. Method of purifying sulfate pine oil-containing product // Patent RU 2099379. Application: 96111345/04, 17.06.1996. Date of publication: 20.12.1997 (in Russian).
20. Chudinov S.V., Strunnikova E.F., Smolyan Z.S., Tokareva T.N., Cherepanov A.A. Method for purification of sulfate turpentine // Patent SU 332115. Application: 1472842/23-5, 10.09.1970. Date of publication: 14.03.1972. Bull. 10 (in Russian).
21. Barrett C.W., Derfer J.M., Hamby C.B. Process for removing sulfur from crude sulfate turpentine or distillate fraction thereof // Patent US 3660512A. Application: 3660512D, 13.04.1970. Date of publication: 02.05.1972.
22. Ilichev I.S., Radbil A.B., Shalashova A.A., Mavrina E.A., Kozlov I.A., Ignatov A.V., Semenycheva L.L. Deep turpentine refining from sulfur compounds // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2014. V. 1. No. 1. P. 110–114 (in Russian).
23. Casbas F., Duprez D., Ollivier J., Rolley R. Perfectionnement au procédé de désulfuration des essences terpéniques // Patent EP 0267833. Application: 87402355.9, 21.10.1987. Date of publication: 18.05.1988. Bull. 88/20 (in French).
24. Kuchin A.V., Karmanova L.P., Rubtsova S.A., Dorosheva R.I. Method for purification of sulfate turpentine // Patent RU 2061722. Application: 5062046/04, 10.09.1992. Date of publication: 10.06.1996. Bull. 10 (in Russian).
25. Kuchin A.V., Karmanova L.P., Popova G.N., Rubtsova S.A., Tolstikov G.A. Method of purifying high-sulfur sulfate turpentine // Patent RU 2126433. Application: 98108586/04, 28.04.1998. Date of publication: 20.02.1999. (in Russian).
26. Lezina O.M., Rubtsova S.A., Kuchin A.V. Method for preparing sulfonyl chlorides // Patent RU 2289574. Application: 2005111533/04, 18.04.2005. Date of publication: 20.12.2006. Bull. 35 (in Russian).
27. Lezina O.M., Rubtsova S.A., Kuchin A.V. Thiol-sulfonate production process // Patent RU 2302407. Application: 2006111114/04, 05.04.2006. Date of publication: 10.07.2007. Bull. 19 (in Russian).
28. Kuchin A.V., Rubtsova S.A., Karmanova L.P., Subbotina S.N., Loginova I.V. Method of preparing sulfoxides // Patent RU 2139275. Application: 98113142/04, 29.06.1998. Date of publication: 10.10.1999. Bull. 28 (in Russian).
29. Kuchin A.V., Karmanova L.P., Rubtsova S.A., Loginova I.V. Method of preparing sulfoxides // Patent RU 2127258. Application: 97112799/04, 14.07.1997. Date of publication: 10.03.1999. Bull. 7 (in Russian).
30. Riegel's handbook of industrial chemistry / [Ed. by J.A. Kent]. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 660 p.
31. Kerry L., Lang R.D. Methylsulfonylmethane (MSM) [Internet resource] <http://www.quackwatch.org/01QuackeryRelatedTopics/DSH/msm.html> (Accessed: 02.08.18).
32. Phenix A., Sutherland K. The cleaning of paintings: effects of organic solvents on oil paints films // Review in Conservation. 2001. V. 46. No. 2. P. 47–60.
33. Cui G., Liu Z., Wei M., Yang L. Turpentine as an alternative solvent for the extraction of gutta-percha from *Eucommia ulmoides* barks // Industrial Crops and Products. 2018. V. 121. P. 142–150.

34. Bicas J.L., Dionisio A.P., Pastore G.M. Bio-oxidation of terpenes: an approach for the flavor industry // Chem. Rev. 2009. V. 109. No. 9. P. 4518–4531.
35. Caputi L., Aprea E. Use of terpenoids as natural flavouring compounds in food industry // Recent Pat. Food Nutr. Agric. 2011. V. 3. No. 1. P. 9–16.
36. Carvalho C.C.C.R., Fonseca M.M.R. Biotransformation of terpenes // Biotechnol. Adv. 2006. V. 24. No. 2. P. 134–142.
37. Yermakova A., Chibiryayev A.M., Kozhevnikova I.V., Anikeev V.I. High-pressure thermolysis of sulfate turpentine // J. Supercrit. Fluids. 2009. V. 48. No. 2. P. 139–145.
38. Sevov C.S., Wiest O. Selectivity in the electron transfer catalyzed Diels – Alder reaction of (*R*)- α -phellandrene and 4-methoxystyrene // J. Org. Chem. 2008. V. 73. No. 20. P. 7909–7915.
39. Frattini L., Isaacs M.A., Parlett C.M.A., Wilson K., Kyriakou G., Lee A.F. Support enhanced α -pinene isomerization over HPW/SBA-15 // Appl. Catal. B: Environ. 2017. V. 200. P. 10–18.
40. Colonna M., Berti C., Fiorini M., Binassi E., Mazzacurati M., Vannini M., Karanam S. Synthesis and radiocarbon evidence of terephthalate polyesters completely prepared from renewable resources // Green Chem. 2011. V. 13. P. 2543–2548.
41. Berti C., Binassi E., Colonna M., Fiorini M., Kannan G., Karanam S., Mazzacurati M., Odeh I., Vannini M. Bio-based terephthalate polyesters // Patent US 9024060. Application: 14144113, 26.12.2013. Date of publication: 12.06.2014.
42. Corma A., Iborra S., Velty A. Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals // Chem. Rev. 2017. V. 107. No. 6. P. 2411–2502.
43. Golets M., Ajaikumar S., Mikkola J.P. Catalytic upgrading of extractives to chemicals: monoterpenes to “EXICALS” // Chem. Rev. 2015. V. 115. No. 9. P. 3141–3169.
44. Starostina E.B., Chashchin A.M. Polyterpenes: synthesis, structure, application: overview information. No. 3. Moskva: VNIPIEHProm. 1987. 44 p. (in Russian).
45. Radbil' A.B., Zhurina T.A., Starostina E.B., Radbil' B.A. Polymerization of α -pinene in the presence of Friedel-Crafts catalysts // Khimiya rastitelnogo syrya. 2004. No. 4. P. 39–48 (in Russian).
46. Beuna N., Ozkan F., Gunduz G. α -pinene isomerization on acid-treated clays // Appl. Catal. A: Gen. 2002. V. 224. No. 1–2. P. 285–297.
47. Comelli N., Avila M.C., Volzone C., Ponzi M. Hydration of α -pinene catalyzed by acid clays // Cent. Eur. J. Chem. 2013. V. 11. No. 5. P. 689–697.
48. Wijayati N., Pranowo H.D., Jumina J., Triyono T. Turpentine oil hydration using trichloroacetic acid as catalyst // AJOCT. 2013. V. 1. No. 9. P. 21–26. doi: 10.14266/ajoct19-3.
49. Radbil' A.B., Zolin B.A., Radbil' B.A., Kulikov M.V., Kartashov V.R. Method of preparing terpin hydrate // Patent RU 2154049. Application: 99115155/04, 20.07.1999. Date of publication: 10.08.2000 (in Russian).
50. Dorsky J. The chemistry of synthetic raw materials production. In Perfumes-art, science, technology / Eds. P.M. Muller, D. Lamparsky. Elsevier: New York, 1991. P. 399–420.
51. Shpak S.I., Chernysheva T.V., Fleysheer V.L., Kvesko A.A. Preparation of pine flotation oil by hydration of α -pinene // Trudy BGTU. Seriya 4: Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya. 2016. No. 4. P. 144–148.
52. Pakdel H., Sarron S., Roy C. α -Terpineol from hydration of crude sulfate turpentine oil // J. Agric. Food Chem. 2001. V. 49. No. 9. P. 433–4341.
53. Knuuttila P. Wood sulphate turpentine as a gasoline bio-component // Fuel. 2013. V. 104. P. 101–108. doi: 10.1016/j.fuel.2012.06.036.
54. Alma M.H., Salan T. A review on novel bio-fuel from turpentine oil // Processes of petrochemistry and oil refining. 2017. V. 18. No. 1. P. 1–12.
55. Jacobson M.Z. Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States // Environ. Sci. Technol. 2007. V. 41. No. 11. P. 4150–4157.
56. Meylemans H.A., Quintana R.L., Harvey B.G. Efficient conversion of pure and mixed terpene feedstocks to high density fuels // Fuel. 2012. V. 97. P. 560–568.
57. Harvey B.G., Wright M.E., Quintana R.L. High-density renewable fuels based on the selective dimerization of pinenes // Energy Fuels. 2010. V. 24. No. 1. P. 267–273.
58. Swift K.A.D. Catalytic transformations of the major terpene feedstocks // Top. Catal. 2004. V. 27. No. 1–4. P. 143–155. doi: 10.1023/B:TOCA.0000013549.60930.da.
59. Maki-Arvela P., Holmbom B., Salmi T., Murzin D.Y. Recent progress in synthesis of fine and specialty chemicals from wood and other biomass by heterogeneous catalytic processes // Catal. Rev. 2007. V. 49. No. 3. P. 197–340.
60. Berti C., Binassi E., Colonna M., Fiorini M., Kannan G., Karanam S., Mazzacurati M., Odeh I., Vannini M. Bio-based terephthalate polyesters // Patent WO/2010/2010078328. Application: PCT/US2009/069691, 29.12.2009. Date of publication: 08.07.2010.
61. Fiege H. Cresols and xylenols. In Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. WileyVCH: Weinheim, 2012. V. 10. P. 419–460.
62. Golets M., Ajaikumar S., Mohln M., Warna J., Rakesh S., Mikkola J.P. Continuous production of the renewable *p*-cymene from α -pinene // J. Catal. 2013. V. 307. P. 305–315. doi: 10.1016/j.jcat.2013.08.007.
63. Eggersdorfer M. Terpenes. In Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Wiley-VCH: Weinheim, 2012. V. 36. P. 29–45.
64. Grau R.J., Zgolicz P.D., Gutierrez C., Taher H.A. Liquid phase hydrogenation, isomerization and dehydrogenation of limonene and derivatives with supported palladium catalysts // J. Mol. Catal. A: Chem. 1999. V. 148. No. 1–2. P. 203–214.
65. Buhl D., Weyrich P.A., Sachtler W.M.H., Holderich W.F. Support effects in the Pd catalyzed dehydroge-

- nation of terpene mixtures to *p*-cymene // Appl. Catal. A: Gen. 1998. V. 171. No. 1. P. 1–11.
66. Buhl D., Roberge D.M., Holderich W.F. Production of *p*-cymene from α -limonene over silica supported Pd catalysts // Appl. Catal. A: Gen. 1999. V. 188. No. 1–2. P. 287–299.
67. Lesage P., Candy J.P., Hirigoyen C., Humblot F., Basset J.M. Selective dehydrogenation of dipentene (*R*-(+)-limonene) into paracymene on silica supported palladium assisted by α -olefins as hydrogen acceptor // J. Mol. Catal. A: Chem. 1996. V. 112. No. 3. P. 431–435.
68. Al-Wadaani F., Kozhenikova E.F., Kozhenikov I.V. Zn(II)–Cr(III) mixed oxide as efficient bifunctional catalyst for dehydroisomerisation of α -pinene to *p*-cymene // Appl. Catal. A: Gen. 2009. V. 363. No. 1–2. P. 153–156.
69. Linnekoski J.A., Asikainen M., Heikkinen H., Kaila R.K., Rasanen J., Laitinen A., Harlin A. Production of *p*-cymene from crude sulphate turpentine with commercial zeolite catalyst using a continuous fixed bed reactor // Org. Process Res. Dev. 2014. V. 18. No. 11. P. 1468–1475.
70. Biochemical aspects of plant and animal coevolution / [Ed. by J.D. Harborne]. New York: Academic Press, 1978. 435 p.
71. Prestwich G.D. Interspecific variations of diterpene composition of *Cubitermes* soldier defence secretions // J. Chem. Ecol. 1984. V. 10. No. 8. P. 1219–1231.
72. Listov M.V. Chemical protection in arthropods and variability of organisms. Leningrad: Nauka. 1989. 157 p. (in Russian).
73. Gol'din E.B., Gol'dina V.G. Ecological and biological significance of terpenes and their practical use: Methodological aspects // Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana. 2011. V. 4. P. 104–111 (in Russian).
74. Barb'e M. Introduction to the chemical environment. Moskva: Mir, 1978. 230 p. (in Russian).
75. Schubert F., Palsson K., Santangelo E., Borg-Karlson A. K. Sulfate turpentine: a resource of tick repellent compounds // Exp. Appl. Acarol. 2017. V. 72. No. 3. P. 291–302. doi: 10.1007/s10493-017-0145-7.
76. Frolova L.L., Bezuglaya L.V., Popov A.V., Kuchin A.V., Vendilo N.V. Bicyclic monoterpenoids in the synthesis of insect pheromones as ecologically safe plant protection products // Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN. Khimicheskie nauki. 2012. V. 1. No. 9. P. 11–23 (in Russian).
77. Behr A., Seidensticker T. Der Balsam der Bäume. In Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe. Springer Spektrum, Berlin.: Heidelberg, 2018. P. 219–232 (in German).
78. Stolz E. Investigations of the surface-active film in the lung alveoli reaction after the inhalation of ethereal oils // Med. Welt. 1976. V. 27. P. 1107–1109 (in German).
79. Mercier B., Prost J., Prost M. Antioxidant activity of Bol d'Air Jacquier breathing sessions in Wistar rats – first studies // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. 2008. V. 21. No. 1. P. 31–46.
80. Tepe B., Donmez E., Unlu M., Candan F., Daferera D., Vardar-Unlu G., Polissiou M., Sokmen A. Antibacterial and antioxidative activities of the essential oils and methanol extracts of *Salvia cryptantha* (Montbret et Aucher ex Benth.) and *Salvia multicaulis* (Vahl) // Food Chem. 2004. V. 84. No. 4. P. 519–525.
81. Sonboli A., Babakhani B., Mehrabian A.R. Antimicrobial activity of six constituents of essential oil from *Salvia* // Z. Naturforsch. C. 2006. V. 61. No. 3–4. P. 160–164.
82. Cha J.D., Jeong M.R., Jeong S.I., Moon S.E., Kil B.S., Yun S.I., Lee K. Ye., Song Yo.H. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Cryptomeria japonica* // Phytother. Res. 2007. V. 21. No. 3. P. 295–299. doi: 10.1002/ptr.1864.
83. Magwa M.L., Gundidza M., Gweru N., Humphrey G. Chemical composition and biological activities of essential oil from the leaves of *Sesuvium portulacastrum* // J. Ethnopharmacol. 2006. V. 103. No. 1. P. 85–89. doi: 10.1016/j.jep.2005.07.024.
84. Martins A.P., Salgueiro L.R., Goncalves M.J., Proenca da Cunha A., Vila R., Canigual S. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Santiria trimera* bark // Planta Medica. 2003. V. 69. No. 1. P. 77–79. doi: 10.1055/s-2003-37025.
85. McKay S.A., Hunter W.L., Godard K.A., Wang S.X., Martin D.M., Bohlmann J., Plant A.L. Insect attack and wounding induce traumatic resin duct development and gene expression of (–)-pinene synthase in *Sitka spruce* // Plant Physiology. 2003. V. 133. No. 1. P. 368–378.
86. Jung W.C., Jang Y.S., Hieu T.T., Lee C.K., Ahn Y.J. Toxicity of *Myristica fragrans* seed compounds against *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae) // J. Med. Entomol. 2007. V. 44. No. 3. P. 524–529.
87. Byers J.A., Zhang Q.H., Birgersson G. Strategies of a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape // Naturwissenschaften. 2000. V. 87. No. 11. P. 503–507.
88. Almirall M., Montana J., Escribano E., Obach R., Berrozpe J.D. Effect of d-limonene, α -pinene and cineole on in vitro transdermal human skin penetration of chlorpromazine and haloperidol // Arzneimittel-Forschung. 1996. V. 46. No. 7. P. 676–680.
89. Hammer K.A., Carson C.F., Riley T.V. Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil // J. Appl. Microbiol. 2003. V. 95. No. 4. P. 853–860.
90. Uribe S., Ramirez T., Pena A. Effects of beta-pinene on yeast membrane functions // J. Bacteriol. 1985. V. 161. No. 3. P. 1195–1200.
91. Rivas da Silva A.C., Lopes P.M., Barros de Azevedo M.M., Costa D.C., Alviano C.S., Alviano D.S. Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers // Molecules. 2012. V. 17. No. 6. P. 6305–6316. doi: 10.3390/molecules17066305.
92. Ishida T., Asakawa Y., Takemoto T., Aratani T. Terpenoids biotransformation in mammals II: Biotransformation of α -pinene, β -pinene, pinane, 3-carene, carane, myrcene, and *p*-cymene in rabbit // J. Pharm. Sci. 1981. V. 70. No. 4. P. 406–415.
93. Oskuie A.B., Nasrollahi S.A., Nafisi S. Design, synthesis of novel vesicular systems using turpentine as a skin permeation enhancer // J. Drug Deliv. Sci. Tec. 2018. V. 43. P. 327–332.
94. Lastbom L., Falk-Filipsson A., Boyer S., Moldéus P., Ryrfeldt A. Mechanisms of 3-carene-induced bronchoconstriction in the isolated guinea pig lung // Respiration. 1995. V. 62. No. 3. P. 130–135.

Альгологический анализ состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования

© 2019. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор,
 К. А. Безденежных¹, аспирант,
 Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор,
¹Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
 e-mail: karina.bezdenezhnykh@mail.ru

Проведён анализ результатов мониторинговых исследований почвенной альгофлоры лесных и луговых экосистем в районе объекта «Марадыковский» за период до начала его деятельности и после прекращения функционирования. Видовое разнообразие альгофлоры лесных экосистем, отмеченное до начала деятельности объекта, составляло 71 вид, после прекращения его работы отмечено 60 видов. В луговых экосистемах соответственно выявлено 123 вида до начала функционирования объекта и 95 видов после. Численность микрофототрофов варьирует в лесных экосистемах от 59,3 до 280,5 тысяч клеток на 1 г воздушно-сухой почвы. По численности преобладают зелёные водоросли (от 41,3 до 263,3 тыс. кл./г почвы). На участках мониторинга луговых экосистем количественные показатели альгофлоры варьируют в пределах от 71,6 до 447,1 тыс. кл./г почвы с доминированием зелёных водорослей. Таксономическая структура альгофлоры представлена отделами Chlorophyta, Bacillariophyta, Ochrophyta. Cyanobacteria представлены в хвойных лесных экосистемах незначительным числом видов, в луговых экосистемах они составляют до 29% видового разнообразия. Отмечено некоторое уменьшение видового разнообразия альгофлоры жёлтозелёных водорослей и ЦБ за период деятельности объекта и намечившееся увеличение числа видов после прекращения его деятельности.

Ключевые слова: альгофлора, почвенные водоросли, цианобактерии, жизненные формы почвенных водорослей, численность клеток, биомониторинг.

Algological analysis of soil state in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” after it finished functioning

© 2019. L. V. Kondakova^{1,2} ORCID: 0000-0002-2190-686X[?]
 K. A. Bezdenezhnykh¹ ORCID:000-0003-1030-3219[?]
 T. Ya. Ashikhmina^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047[?]
¹Vyatka State University,
 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,
 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
 e-mail: karina.bezdenezhnykh@mail.ru

The article presents the analysis of monitoring research of soil algoflora of forest and meadow ecosystems in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” for the period before the start of its operating and till after stopping its functioning. Specious diversity of forest phytocoenoses algoflora before the start of its functioning accounted for 71 species. After the plant stopped functioning there were found out just 60 species. In meadow phytocoenoses the number is 123 and 95 species accordingly. The number of microphototrophs varies in forest ecosystems from 59.3 to 280.5 thousand cells per 1 g of air-dry soil. Green algae prevail in number (41.3 to 263.3 thousand cells per 1 g of soil). At the monitoring sites of meadow phytocoenoses the index of algoflora varies from 71.6 to 447.1 thousand cells per 1 g, green algae prevailing. The structure of algoflora of the monitoring sites is presented by the soil algae groups Chlorophyta, Bacillariophyta, Ochrophyta, as for species diversity, green algae prevail. Cyanobacteria (CB) are represented in coniferous forest ecosystems by a small number of species, they are rare there, and in meadow ecosystems they account for 29% species. Specious diversity of yellow-green algae and CB also decreased during the period of the plant’s functioning, still it is likely to increase after the plant stopped functioning.

Keywords: algoflora, soil algae, cyanobacteria, soil algae life forms, number of cells, biomonitoring.

В настоящее время в шести регионах России, где хранилось и уничтожалось химическое оружие (ХО), проводятся плановые работы по ликвидации последствий деятельности. Создаются полигоны для хранения и захоронения накопленных отходов, выполняются работы по реабилитации территорий в промышленных зонах, где уничтожались запасы ХО. Каждый объект готовится к экологическому аудиту, по результатам которого должна быть сделана оценка пригодности использования данных территорий и промышленной инфраструктуры объектов в мирных целях. С первого дня реализации Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» и в рамках реализации Федерального закона «Об уничтожении химического оружия» обращалось особое внимание обеспечению безопасности всех осуществляемых процессов на объекте. Были разработаны не только высокоэффективные отечественные технологии, которые позволили обеспечить безопасное уничтожение химических боеприпасов с соблюдением самых жёстких экологических стандартов и требований, но и создана уникальная комплексная система экологического контроля и мониторинга, включающая на системной основе производственный контроль, государственный экологический мониторинг и социально-гигиенический мониторинг [1]. Таким образом обеспечивался контроль за производственным процессом и экологический мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения.

Важными компонентами комплексного экологического мониторинга являлись природные объекты, проведение биомониторинговых исследований – биоиндикации и биотестирования. Основной задачей биомониторинга на территориях санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта по хранению и уничтожению ХО являлась оценка состояния и выявление отклика, тенденций изменения биологического компонента окружающей среды на техногенное воздействие в ходе уничтожения ХО [2].

На объекте уничтожения ХО «Марадыковский» (Кировская область) к проведению экологического мониторинга окружающей природной среды были привлечены ведущие специалисты – экологи, учёные научной лаборатории биомониторинга ВятГУ [2]. Особое внимание уделялось биомониторингу природных сред и объектов, в особенности, почвы – основного накопителя загрязняющих веществ. Почва является средой обитания для многих организмов. Изменение состояния поч-

венной среды при техногенном воздействии неизбежно оказывает влияние на педобионтов.

В ходе биологического мониторинга почв в районе объекта по хранению и уничтожению химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский» исследовались ферментативная активность почв [3, 4], комплексы микромицетов [5, 6] и актиномицетов [7, 8], проводились микологические исследования [4, 6]. Широко применялись альгологические методы оценки состояния почвенной среды [9–14], так как реакция почвенных водорослей сходна с реакцией высших растений, они быстро реагируют на почвенное загрязнение [15–17].

Было установлено, что в почвах в районе объекта «Марадыковский» в период его эксплуатации произошли перестройки в структуре актиномицетных комплексов, выявлено увеличение доли представителей рода *Streptomyces*, актиномицетные комплексы приобрели характерную для почв таёжной зоны структуру, что не отмечалось ранее при строительстве объекта [8]. Ферментативная активность почв сохраняла стабильное состояние [4]. Отмечено влияние техногенной нагрузки на альго-цианобактериальный комплекс почв, проявляющееся в трансформации водорослевых группировок, обеднении видового состава альгофлоры, снижении количественных показателей. Полученные данные по диагностике состояния почв и динамике её изменения особенно ценны на этапе вывода из эксплуатации объекта и проведении работ по реабилитации территории в районе эксплуатируемого 9 лет ОХУХО «Марадыковский».

Цель данной работы – провести сравнительную альгологическую оценку состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования для выявления отсроченного действия.

Объекты и методы

Для альгологических исследований использованы почвенные образцы, отобранные в 2015–2018 гг. на участках мониторинга луговых и лесных фитоценозов, расположенных на разном удалении от ОХУХО «Марадыковский». Отбор проб проводили в летне-осенний период с глубины 0–5 см, объёмом 125 см³. Средний образец составляли из 5 индивидуальных проб.

Видовой состав альгофлоры изучали постановкой чашечных культур со стёклами обрастания [18]. Количественные показатели альгофлоры определяли прямым микроскопированием

на мазках [19]. Жизненные формы (биоморфы) почвенных водорослей приведены по [18].

Результаты и обсуждение

Ранее в лесных экосистемах участков мониторинга в районе объекта «Марадыковский» был выявлен 71 вид водорослей и цианобактерий (ЦБ), в луговых экосистемах было отмечено 123 вида почвенных микрорототрофов [9, 10].

По результатам исследований, проведённых после прекращения функционирования объекта, в почвах лесных экосистем участков мониторинга выявлено 60 видов почвенных водорослей и ЦБ, в почвах луговых фитоценозов – 95 видов. Доля общих видов для лесных и луговых участков фитоценозов составляет 36%. Таксономический состав альгофлоры участков мониторинга до начала функционирования объекта и после его прекращения представлен в таблице 1.

В почвах лесных и луговых экосистем участков мониторинга до начала функционирования объекта отмечено более богатое видовое разнообразие. После прекращения функционирования объекта в данных экосистемах отмечено меньше видов ЦБ и жёлтозелёных водорослей, чувствительных к техногенной нагрузке. По видовому разнообразию преобладают водоросли из отдела Chlorophyta. Доминирующие виды микрорототрофов представлены в таблице 2.

Экологический анализ альгофлоры лесных экосистем представлен на рисунке 1.

Формула экобиоморф для сосновых фитоценозов – $C_{16}Ch_{14}X_{11}H_5B_4hydr_3P_2$, для еловых – $Ch_9X_7B_7C_5H_2P_2hydr_1$ (рис. 1).

Среди спектра жизненных форм преобладают толерантные к техногенной нагрузке виды С- и Ch-формы, теневыносливые виды Х-формы.

Экологический анализ альгофлоры луговых экосистем представлен на рисунке 2. Формула

Таблица 1 / Table 1

Таксономическая структура альгофлоры на участках мониторинга в районе объекта «Марадыковский» до и после прекращения его функционирования
Taxonomic structure of algoflora at the monitoring sites in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” before and after the stop of its functioning

Группы микрорототрофов Microphototrophic groups	Фитоценоз / Phytocoenosis							
	лесные экосистемы forest ecosystems				луговые экосистемы meadow ecosystems			
	количество видов / number of species		процент % percentage %		количество видов / number of species		процент % percentage %	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria	16	4	22,5	16,7	36	28	29,3	29,5
Chlorophyta	32	36	45,1	60,0	47	42	38,2	44,2
Ochrophyta	15	12	21,1	20,0	27	16	21,9	16,8
Bacillariophyta	8	8	11,3	13,3	12	9	9,8	9,5
Euglenophyta	–	–	–	–	1	–	0,8	–
Всего/ Total	71	60	100	100	123	95	100	100

Примечание: * данные 2004–2006 гг. [10], ** данные 2016–2017 гг. [12], «–» – вид не выявлен.
Note: * data for 2004–2006 [10], ** data for 2016–2017 [12], “–” – species not identified.

Таблица 2 / Table 2

Доминирующий комплекс микрорототрофов лесных и луговых фитоценозов объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования
Dominating complex of microphototrophs of forest and meadow coenoses of the plant “Maradykovskiy” after the stop of its functioning

Доминирующие виды / Dominating species	
В лесных фитоценозах In forest phytocoenoses	<i>Coccomyxa solorinae</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Vischeria helvetica</i>
В луговых фитоценозах In meadow phytocoenoses	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Phormidium jadinianum</i> , <i>Ph. formosum</i> , <i>Cylindrospermum michailovscoense</i> , <i>Nostoc linckia</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Pinnularia borealis</i> , <i>Nitzschia palea</i> .

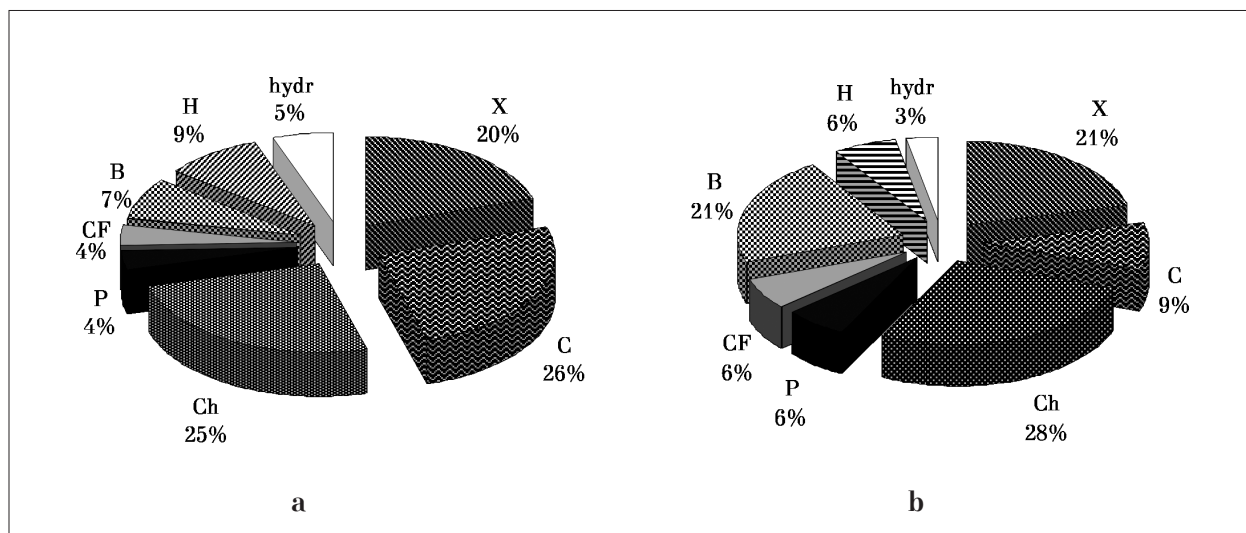


Рис. 1. Спектр жизненных форм почвенных водорослей лесных фитоценозов:
 а) сосновые леса; б) еловые леса
 Fig. 1. The range of soil algae life forms in forest phytocoenoses:
 а) pine forests; б) spruce forests

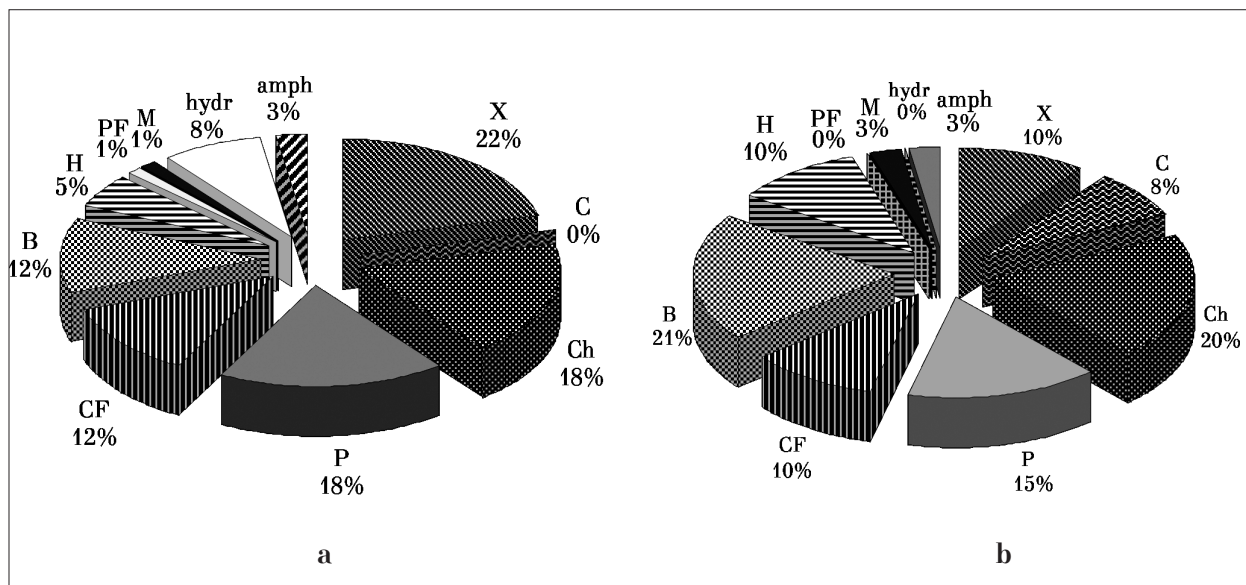


Рис. 2. Спектр жизненных форм почвенных водорослей луговых экосистем:
 а) суходольные луга; б) пойменные луга
 Fig. 2. The range of soil algae life forms in meadow phytocoenoses:
 а) dry meadows; б) flood plain meadows

экобиоморф участков мониторинга суходольных лугов: $X_{16}C_{16}(CF_9)Ch_{14}P_{14}B_9hydr_6H_4amph_2PF_1M_1$, преобладают представители X-, C-, Ch-, P- форм (теневыносливые, устойчивые к высыханию, толерантные к нагрузке виды), пойменных лугов: $B_8Ch_8P_6H_4X_4C_3(CF_4)amph_1M_1$. В пойменных лугах доминируют представители B-, Ch- и P-форм (влаголюбивые, устойчивые к нагрузке, развивающиеся на поверхности почвы виды).

Количественные показатели почвенной альгофлоры лесных и луговых экосистем представлены на рисунках 3 и 4.

На участках мониторинга лесных фитоценозов (рис. 3) общая численность почвенных водорослей и ЦБ в 2016 г. варьировала от 59,3 до 243,1 тыс. кл./г почвы.

Наименьшая численность водорослей была отмечена на участке соснового леса № 18 – 59,3 тыс. кл./г почвы, который расположен в непосредственной близости от объекта, на расстоянии 1,5 км. Более высокая численность водорослей отмечена на контрольных участках (№ 112 и № 157): 224,2–243,1 тыс. кл./г почвы соответственно.

В 2017–2018 гг. наибольшая численность водорослей также была отмечена на участке № 112: 280,5–296,0 тыс. кл./г почвы. В лесных фитоценозах по численности клеток преобладали зелёные водоросли. В еловых лесах, по сравнению с сосновыми, численность диатомовых водорослей была выше (14,5–67,2 тыс. кл./г почвы против 7,7–26,5 тыс. кл./г почвы в 2017 и 25,0–31,5 тыс. кл. и 9,5–22,1 тыс. кл. в 2018 г.). Численность ЦБ в почвах сосновых фитоценозов составляла до 24,3 тыс. кл./г, в еловых – до

8,8 тыс. кл./г. В целом, на половине участков мониторинга лесных фитоценозов численность почвенных водорослей в 2017–2018 гг. возросла в сравнении с 2016 г. При этом на ряде участков, с активным развитием травостоя, отмечено снижение общей численности водорослей и ЦБ, что, возможно, связано с изменениями светового и водного режима.

В почвах луговых участков мониторинга в районе объекта «Марадыковский» общая численность почвенных водорослей и ЦБ

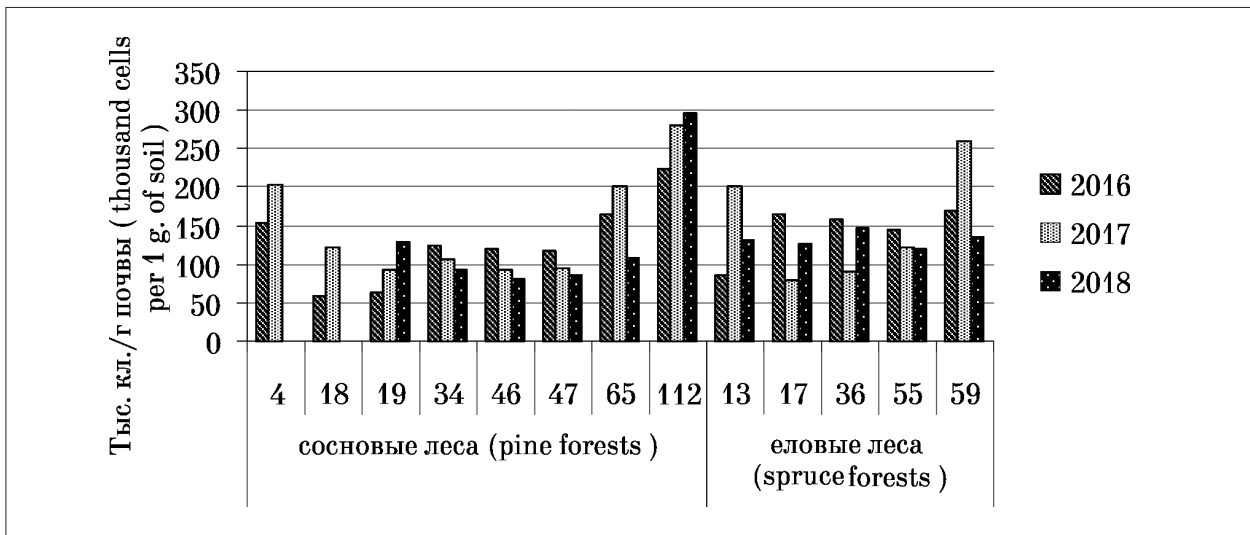


Рис. 3. Численность водорослей и цианобактерий лесных фитоценозов в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», тыс. кл./г почвы

Fig. 3. The number of algae and cyanobacteria of forest phytocenoses in the vicinity of chemical weapons storage and decommission plant “Maradykovskiy”, thousand cells per 1 g of soil

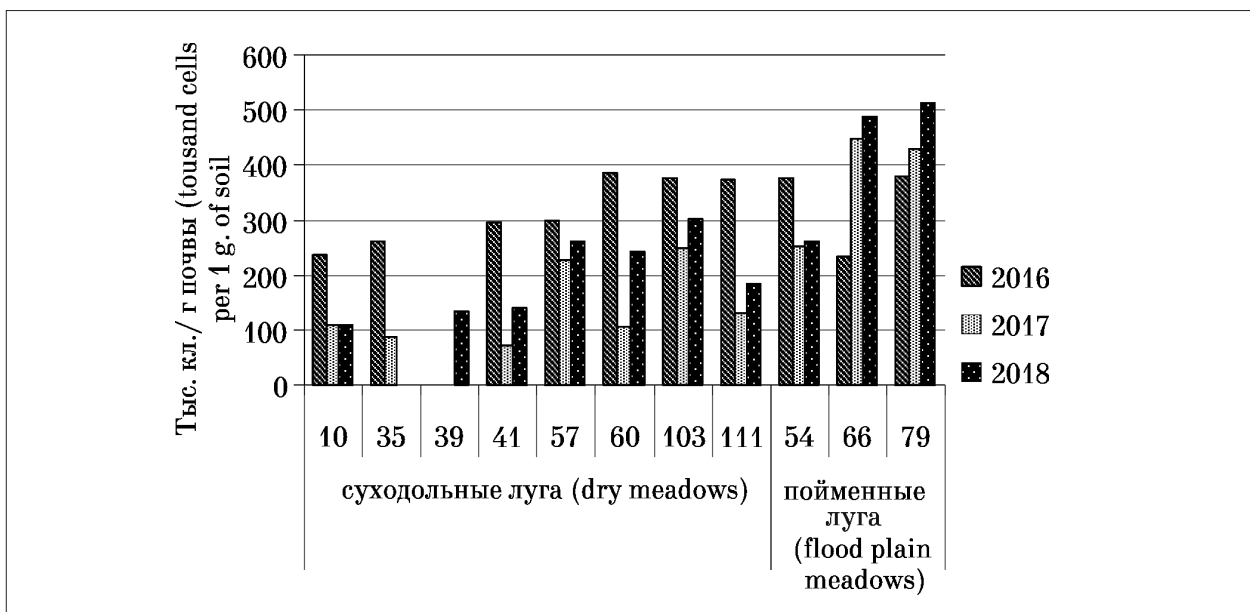


Рис. 4. Численность водорослей и цианобактерий луговых фитоценозов в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», тыс. кл./г почвы

Fig. 4. The number of algae and cyanobacteria of meadow phytocenoses in the vicinity of chemical weapons storage and destruction plant “Maradykovskiy”, thousand cells per 1 g of soil

в 2016 г. варьировала в пределах от 233,4 до 385,0 тыс. клеток/г почвы (рис. 4).

Наименьшее число клеток водорослей отмечено на участке пойменного луга № 66; наибольшим количественным показателем характеризовался участок пойменного луга № 79. Как в суходольных, так и в пойменных лугах преобладали зелёные водоросли (от 133,3 до 210,9 тыс. кл./г почвы). Численность диатомовых водорослей составляла 47,8–156,8 тыс. кл./г почвы; ЦБ – 1,9–56,4 тыс. кл./г почвы. В 2017 г. общая численность клеток микрофототрофов колебалась в широких пределах: от 71,6 до 447,1 тыс. кл./г почвы. Наибольшая численность отмечена для участков пойменных лугов (№№ 66 и 79) – 447,1 и 427,6 тыс. кл./г почвы соответственно. В 2017 г. численность водорослей и ЦБ в большинстве луговых участков снизилась. Это, возможно, связано с более мощным развитием травостоя на лугах в летний период более влажного 2017 г., что оказало влияние на развитие микрофототрофов. В 2018 г. показатели численности водорослей и ЦБ возросли по сравнению с предыдущими годами.

Выводы

В альгофлоре изученных фитоценозов выявлено 119 микрофототрофов, в том числе: в сосновых лесах 55 видов, в еловых – 33 вида, в суходольных лугах – 92, в пойменных – 39 видов. По видовому составу и численности во всех фитоценозах доминируют зелёные водоросли.

Общая численность водорослей и цианобактерий за изученный период в лесных фитоценозах колебалась от 59,3 до 296,0 тыс. кл./г почвы, в луговых количественные показатели варьировали от 71,6 до 513,6 тыс. кл./г почвы.

Выраженного негативного влияния от функционирования ОХУХО «Марадыковский» на почвенную альгофлору лесных и луговых фитоценозов не выявлено. Однако следует отметить некоторое уменьшение видового разнообразия альгофлоры – жёлтозелёных водорослей и ЦБ в период деятельности объекта в сравнении с фоновыми показателями и наметившееся увеличение числа видов микрофототрофов после прекращения его деятельности.

Работа выполнена в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» № 5.4962.2017/БЧ.

Литература

1. Федеральный закон от 2 мая 1997 г. № 76-ФЗ «Об уничтожении химического оружия» (с изменениями и дополнениями от 14 октября 2014 г. № 307-ФЗ) [Электронный ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14292/ (Дата обращения: 21.07.2018).
2. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
3. Огородникова С.Ю., Скугорева С.Г., Олькова А.С. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Вестник Института биологии Коми НЦ УРО РАН. 2008. № 6. С. 23–26.
4. Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И., Коновалов А.Л., Безденежных К.А. Физиолого-микробиологический статус почв после прекращения работы объекта по хранению и уничтожению химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 4. С. 63–73.
5. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Кантор Г.Я., Кондакова Л.В. Изучение воздействия фосфорсодержащих поллютантов на почвенные микроорганизмы // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 4. С. 183–186.
6. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Елькина Т.С. Сравнительный анализ специфики почвенных альго-микологических комплексов в зоне действия объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 73–78.
7. Ашихмина Т.Я., Товстик Е.В., Огородникова С.Ю., Домнина Е.А., Широких И.Г. Численность и разнообразие почвенных актиномицетов вблизи объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 67–72.
8. Товстик Е.В. Комплексы почвенных актиномицетов в зоне действия объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский»: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2015. 20 с.
9. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Часть 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО Кировская областная типография, 2007. 192 с.
10. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв южной тайги Европейской части России): Автореф. дисс... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.
11. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2012. 128 с.
12. Кондакова Л.В., Безденежных К.А. Исследование альгофлоры хвойных фитоценозов в районе объекта «Марадыковский» // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров, 2017. С. 16–21.

13. Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Мониторинг альгофлоры в районе объекта «Марадьковский» после прекращения его функционирования // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018): Сб. ст.: XVIII Всерос. науч.-практ. конф. Т. 1. Биологические и химические науки. Киров, 2018. С. 6–13.

14. Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Количественные показатели альгофлоры луговых и лесных фитоценозов в районе объекта «Марадьковский» // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров, 2018. С. 37–40.

15. Metting B. The systematics and ecology of soil algae // Bot. Rev. 1981. No. 47. P. 195–312.

16. Hongmei J., Aitchison J.C., Lacap D.C., Peerapornpisal Y., Sompong U., Pointing S.B. Community phylogenetic analysis of moderately thermophilic cyanobacterial mats from China, the Philippines and Thailand // Extremophiles. 2005. V. 9. P. 325–332.

17. Pipe A.E., Shubert L.E. The use of algae as indicators of soil fertility // Algae as ecological indicators / Ed. L.E. Shubert. London: Acad. Press, 1984. P. 213–233.

18. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.

19. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2005. 336 с.

References

1. Federal law on the on the destruction of chemical weapons of May 2, 1997, No. 76-FZ [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14292/ (Accessed: 21.07.2018) (in Russian).

2. Ashikhmina T.Y. Complex ecological monitoring of the chemical weapons storage and destruction facilities. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).

3. Ogorodnikova S.Yu., Skugoreva S.G., Olkova A.S. Evaluation of the biological activity of the soil in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN. 2008. No. 8. P. 23–26 (in Russian).

4. Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.Yu., Domracheva L.I., Konovalov A.L., Bezdenezhnykh K.A. Physiological and microbiological status of soil after termination of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical and Applied Ecology. 2016. No. 4. P. 63–73 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-4-063-073.

5. Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Kantor G.Ya., Kondakova L.V. Study of the influence of phosphorus-containing pollutants on soil microorganisms // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2010. T. LIV. No. 4. P. 183–186 (in Russian).

6. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Dabakh E.V., Elkina T.S. Comparative analysis of specific soil algo-mycological complexes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical

and Applied Ecology. 2012. No. 4. P. 73–78 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-086-091.

7. Ashikhmina T.Ya., Tovstik E.V., Ogorodnikova S.Yu., Domnina E.A., Shirokikh I.G. The number and diversity of soil actinomycetes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical and Applied Ecology. 2012. No. 4. P. 67–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-080-085.

8. Tovstik E.V. Complexes of soil actinomycetes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky”: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Syktyvkar, 2015. 20 p. (in Russian).

9. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Flora of Vyatka region. Part 2. Algae (Species composition, specificity of water and soil biocenoses). Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2007. 192 p. (in Russian).

10. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and special ways of its development in anthropogenically disturbed soils (by the example of soils of the southern taiga subzone): Avtoref. dis. ... d-ra. biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).

11. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae spruce forests and its change in conditions of environmental contamination. Syktyvkar, 2012. 128 p. (in Russian).

12. Kondakova L.V., Bezdenezhnykh K.A. Study of algal flora of coniferous phytocenoses in the area of the facility “Maradykovsky” // Bodiagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU. 2017. P. 16–21 (in Russian).

13. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V. Monitoring of algal flora in the area of the facility “Maradykovsky” after the cessation of its functioning. // Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK–2018): sbornik statey XVIII Vseros. nauch.-prakt. konf. V. 1. Biologicheskkiye i khimicheskkiye nauki. Kirov: VyatGU, 2018. P. 6–13 (in Russian).

14. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V. Qualitative indicators of algal flora of meadow and forest phytocenoses in the area of the facility “Maradykovsky” // Ekologiya rodno go kraja: problemy i puti ikh resheniya: Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2018. P. 37–40 (in Russian).

15. Metting B. The systematics and ecology of soil algae // Bot. Rev. 1981. No. 47. P. 195–312.

16. Hongmei J., Aitchison J.C., Lacap D.C., Peerapornpisal Y., Sompong U., Pointing S.B. Community phylogenetic analysis of moderately thermophilic cyanobacterial mats from China, the Philippines and Thailand // Extremophiles. 2005. V. 9. P. 325–332. doi: 10.1007/s00792-005-0456-1.

17. Pipe A.E., Shubert L.E. The use of algae as indicators of soil fertility // Algae as ecological indicators / Ed. L.E. Shubert. London: Acad. Press. 1984. P. 213–233.

18. Shtina E.A., Gollerbach M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).

19. Domracheva L.I. Soil “flowering” and the laws of its development. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO RAN, 2005. 336 p. (in Russian).

Содержание токсичных элементов в воде и макроводорослях в водных объектах бассейна трансграничной реки Аргунь (Россия)

© 2019. А. П. Кузлин, к. б. н., н. с., Г. Ц. Цыбекмитова, к. б. н., с. н. с.,
 Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
 672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16 а,
 e-mail: kap0@mail.ru, gazhit@bk.ru

Река Аргунь, как приграничный водоток между Россией и Китаем, является своеобразным индикатором загрязнения на её водосборной территории. Проведённая оценка содержания 12 токсичных элементов в воде и в макроводорослях восьми притоков российской части бассейна р. Аргунь и в реке Аргунь (семь створов), показала наибольшее загрязнение вод реки Средняя Борзя. Содержание токсичных элементов в воде реки Средняя Борзя, ниже участков промывки золота, составило (мкг/дм³): Mn – 171, Fe – 4994, Cu – 66, Zn – 102, As – 7, Mo – 3, Hg – 0,02, Pb – 13, что в несколько раз превышает ПДК данных металлов для рыбохозяйственных водоёмов. Высокое содержание Fe и Mn в реках бассейна связано с особенностями горных пород исследуемой территории. Отмеченные токсичные элементы могут переноситься с твёрдым стоком на большие расстояния, оседать в донных отложениях, тем самым подвергать водотоки вторичному загрязнению. Для большинства водотоков выявлено превышение числа токсичных элементов в *Cladophora fracta* из бассейна р. Аргунь относительно фоновых концентраций, характерных для водоёмов Забайкальского края. Наибольшие отличия зарегистрированы в пробах водорослей из резервного водохранилища г. Краснокаменска (Zn, As, Ni), в р. Средняя Борзя (Mo, Cd, Pb), в р. Калга (Mn, Co, Mo). В водохранилище г. Краснокаменска в зимнее время производится закачка воды из р. Аргунь, имеющая самую высокую минерализацию в этот период. Полученные результаты могут быть использованы в мониторинге загрязнения водной среды токсичными элементами и для принятия управленческих решений.

Ключевые слова: загрязнение, поверхностные воды, мониторинг, *Cladophora fracta*.

Content of toxic elements in water and macroalgae of the Argun River (Russia) basin water courses

© 2019. A. P. Kuklin ORCID: 0000-0002-0225-6582, G. Ts. Tsybekmitova ORCID: 0000-0001-6034-820X,
 Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS,
 16 a, Nedorezova St., Chita, Russia, 672014,
 e-mail: kap0@mail.ru, gazhit@bk.ru

The Argun River, as a transboundary stream flow between Russia and China, is an indicator of the existing pollution in its catchment area. The estimated content of 12 toxic elements in water and in macro-algae of eight tributaries of the Russian part of the basin of the Argun and in the Argun (seven sections), showed the greatest pollution of the waters of the river Srednyaya Borzya. The content of toxic elements in the water of the Srednyaya Borzya, below the gold washing areas, is (mkg/dm³): Mn – 171, Fe – 4994, Cu – 66, Zn – 102, As – 7, Mo – 3, Hg – 0.02, Pb – 13, which is several times higher than maximum permissible concentration of these metals. The high content of Fe and Mn among heavy metals in the rivers of the basin is connected with the specific features of the rocks in the study area. The marked toxic elements can be transported with solid runoff over long distances, settle in bottom sediments, thereby subjecting stream flows to secondary pollution. For most of the stream flows, it was exceeded the number of toxic elements in *Cladophora fracta* from the basin of the river Argun, relative to the background concentrations, typical for the water bodies of Zabaikalsky Krai. The greatest differences were recorded in samples of algae from the reserve reservoir of Krasnokamensk (Zn, As, Ni), in the river Srednyaya Borzya (Mo, Cd, Pb), in the river Kalga (Mn, Co, Mo). In the reservoir of Krasnokamensk in wintertime, water is pumped from the river Argun, which has the highest mineralization in this period. The obtained results can be used in monitoring of water pollution by toxic elements and for making managerial decisions.

Keywords: minerals, pollution, surface water, monitoring, *Cladophora fracta*.

Река Аргунь от истоков до границы с Российской Федерацией (РФ) протекает по территории Китайской Народной Республики (КНР) и называется Хайлар. Далее река до устья является пограничной между РФ и КНР. В бассейне р. Аргунь разведаны месторождениями полезных ископаемых [1, 2]. Поэтому остро стоит проблема загрязнения токсичными элементами (ТЭ) как в России [3], так и в КНР [4]. Рассмотрение вопроса о трансграничном переносе загрязнений по р. Аргунь невозможно без объективной информации об экотоксикологическом состоянии водных объектов всего бассейна. В статье обсуждаются результаты, полученные в границах Забайкальского края РФ. Целью наших исследований была оценка содержания ТЭ в воде и в макроводорослях как индикаторах состояния среды в водотоках российской части бассейна р. Аргунь.

Объекты и методы

В статье приведены результаты исследований в бассейне р. Аргунь, проведенных с 15 по 28 июля 2013 г. Сбор проб проводили на 15 станциях 10 рек бассейна р. Аргунь (табл. 1). Были отобраны 10 проб воды и собраны 17 проб макроводорослей. Физико-химические параметры воды (рН, минерализация, температура, содержание кислорода) определяли

на приборе «AQWA-метр» (Германия), содержание азота и фосфора – на спектрофотометре DR-2800 (Германия) (табл. 1). Воду для определения ТЭ сразу пропускали через мембранный фильтр в инертные пластиковые пробирки объемом 15 мл, подкисляли фильтрат до рН менее 2 (*Nitric acid 65% Suprapur, Merck*). Методика пробоподготовки водорослей к анализу изложена в [5]. Анализ содержания ТЭ в воде и водорослях проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (прибор ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США)). Чувствительность метода составляла 10⁻³ мг/кг. Оценка экологического состояния водотоков производилась по отношению к ПДК_{рх} (предельно допустимая концентрация в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей) [6].

При оценке состояния среды нами принято, что двойное превышение над расчётными фоновыми содержаниями обусловлено региональными особенностями территории, превышение свыше 2 раз – рассматривается как загрязнение. Большие различия в содержании химических элементов в *Cladophora fracta* из разных мест Забайкальского края обуславливают высокое стандартное отклонение, сравнимое для ряда элементов со средними значениями. При расчёте фоновых концентраций элементов для макроводорослей

Таблица 1 / Table 1

Физико-химическая характеристика вод бассейна р. Аргунь (РФ) в июле 2013 г.
Physico-chemical characteristics of the waters of the basin of the river Argun (RF) in July 2013

№	Широта / Latitude	Долгота / Longitude	Показатели / Indicators									
			глубина / depth, m	мутность / turbidity, ЕМФ/FTU	t, °C	рН	O ₂	N _{общ / total}	P _{мин / inorg}	P _{общ / total}	TDS	
												мг/дм ³ / mg/dm ³
1	49°32,233'	117°52,136'	0,5	21,4	22,9	7,14	6,5	0,18	0,10	0,34	102	
2	49°32,265'	117°48,987'	2,0	0	22,9	7,46	5,7	0,18	0,10	0,34	112	
3	49°32,881'	117°50,3262'	3,0	0	23,4	7,34	6,3	0,18	0,13	0,37	113	
4	50°21,3979'	119°11,9621'	2,5	4,2	19,5	7,26	10,8	0,14	0,03	0,14	57	
5	50°09,7147'	119°18,8753'	2,6	41,4	22,8	7,22	4,4	0,16	0,06	0,19	104	
6	51°21,8713'	119°56,0923'	1,5	5,7	21,1	7,34	8,1	0,01	0,05	0,12	72	
7	50°24,414'	118°39,136'	1,1	0	22,6	7,90	13,5	0,16	0,04	0,40	555	
8	50°20,5745'	119°06,045'	1,2	0	28,0	8,51	–	0,24	0,04	0,14	408	
9	51°03,3167'	118°49,1421'	0,7	2,0	9,3	7,51	12,2	0,14	–	0,09	30	
10	50°58,0698'	119°22,5051'	0,5	223,0	21,5	7,92	8,3	0,23	0,12	0,24	121	
11	51°23,4677'	119°37,4024'	1,0	0,1	13,7	7,6	10,3	0,23	–	–	130	
12	51°26,9432'	119°03,3061'	1,5	0	14,8	7,39	8,4	0,10	0,01	0,06	78	
13	51°19,0583'	118°10,7928'	1,6	0	19,4	7,35	8,2	0,01	0,02	0,07	77	
14	49°59,128'	118°12,457'	7,0	–	21,9	8,31	8,5	0,15	0,03	0,08	185	
15	50°55,435'	118°53,771'	0,2	–	17,1	–	–	–	–	–	–	

Примечание: «–» нет измерений, TDS – общая минерализация
Note: “–” no measurements, TDS – total dissolved solids.

Таблица 2 / Table 2

Содержание токсичных элементов (мкг/дм³) в воде р. Аргунь и её притоков
The content of toxic elements (µg/dm³) in the water of the Argun river and its tributaries

№	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Cd	Hg	Pb
2	ND	374	0,36	0,39	0,97	7,85	4,00	163,42	1,09	0,15	0,013	0,78
3	40,50	551	0,19	0,01	2,96	17,11	4,40	172,84	1,10	0,27	0,012	0,23
5	192,84	307	0,19	ND	0,76	17,20	3,90	206,98	0,93	0,01	0,014	0,32
6	34,00	321	0,20	ND	ND	ND	2,67	173,56	0,79	0,03	0,011	ND
8	20,34	319	0,20	0,56	ND	2,55	6,81	739,44	1,67	0,03	0,010	ND
9	31,26	293	0,18	ND	1,33	9,50	0,51	99,48	0,78	0,01	0,005	3,38
10	170,99	4994	3,66	15,65	65,81	101,72	7,28	331,62	3,36	0,25	0,019	13,07
12	44,72	346	0,16	0,26	5,96	17,79	0,98	239,45	0,55	0,07	0,010	0,10
13	52,33	282	0,16	0,37	ND	ND	1,51	241,04	0,85	0,02	0,011	ND
14	434,64	202	0,17	ND	0,39	5,68	2,75	263,93	2,97	0,01	0,004	ND
ПДК _{рх} / МАС	10,00	100	10,00	10,00	1,00	10,00	5,00	400,00	1,00	5,00	0,01	6,00
ССС	–	1000	–	52,00	9,00	120,00	150	–	–	0,25	0,77	2,5

Примечание: «–» нет данных; ND – ниже порога определения метода; ПДК_{рх} [6]; СССР [11].
Note: “–” no data; ND – is below the detection threshold of the method; МАС [6]; СССР [11].

принимается средняя величина с учётом трёх стандартных отклонений [7].

Результаты и обсуждение

Регулярные наблюдения за гидрохимическим состоянием р. Аргунь осуществляются подразделениями Забайкальского управления государственной метеорологической службы (ЗабУГМС), на водных объектах бассейна р. Аргунь мониторинг не проводится. Крупные водопользователи результаты наблюдений не предоставляют в единую базу данных и доступ к ним затруднён.

Минерализация воды р. Аргунь с 2000 по 2010 гг. по данным ЗабУГМС [8] изменялась от 165 до 424 мг/дм³ с минимумом (111–283 мг/дм³) в весеннее и осеннее половодье (апрель-июнь, август-сентябрь). В подлédный период минерализация достигает в отдельных случаях 950 мг/дм³ (февраль 2003 г., станция 3). В водотоках бассейна р. Аргунь по данным за июль 2013 г. минерализация воды варьирует от 30 мг/дм³ (р. Средняя Борзя, ст. 9) до 555 мг/дм³ (р. Урулюнгуй, ст. 7) (табл. 1). Величина рН изменялась от 7,2 до 8,0, содержание O₂ – от 5,7 мг/дм³ (пр. Мутная) до 10,3 мг/дм³ (р. Серебрянка), процент насыщения O₂ – от 71 до 110%, что соответствует ПДК_{рх}. Отношение P_{мин}/P_{общ} в воде р. Аргунь составило в среднем 0,31, что показывает на преобладание в воде P_{орг}. Низкая концентрация P_{мин} в воде может быть обусловлена присутствием Fe, которое осаждаёт P_{мин} в виде нерастворимых

соединений [9]. По нашим данным (табл. 2), количество Fe_{общ} в воде р. Аргунь высокое, превышающее в 3–6 раз ПДК_{рх} (станции 2–6). Веществами, среднегодовая концентрация которых в воде р. Аргунь превышает ПДК_{рх}, являются трудноокисляемые (ХПК) и легкоокисляемые (БПК₅) органические вещества, Fe_{общ}, Cu (1,6–2,9 ПДК_{рх}), Mn (1,2–22,8 раз), нефтепродукты (1,5–4,7 раз). В среднем течении реки наибольшее влияние на качество вод оказывают ТЭ (Fe_{общ}, Zn, Mn, Cu).

Река Средняя Борзя ниже участков промывки золота (ст. 10) не соответствует ПДК_{рх} по Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg, Pb, выше участка – только по Cu и Mn. Известно [10], что большая часть ТЭ транспортируется на суспендированных твёрдых частицах, а часть – в растворённом виде. Так, на участке от верхнего до нижнего течения р. Средняя Борзя, мутность воды возросла в 111 раз, концентрация Cu – в 50, Cd – в 25, Co – в 20, Fe – в 17, As – в 14, Zn – в 10, Pb – в 4 раза, что привело к превышению ПДК_{рх} по ряду элементов (рис. 3а).

Для оценки биологического накопления ТЭ нами рассмотрены макроводоросли, являющиеся обычными обитателями водотоков и водоёмов бассейна [12]. Данные о содержании токсичных элементов в водорослях бассейна р. Аргунь приводятся впервые (табл. 3). В целом, полученные данные укладываются в известные для пресноводных экосистем пределы содержания элементов [3].

Сопоставление полученных нами результатов с ПДК_{рх} (рис., а) показало превышение значений по Mn и Fe во всех исследованных водотоках, что является природным фоном для вод бассейна р. Аргунь. Отчасти это справедливо и для Cu, Zn, As и Pb, концентрация которых на отдельных участках рек также находится в диапазоне одного или двух ПДК_{рх}. Проведение промывки золота без соблюдения нормативов приводит к существенному загрязнению водной среды, в том числе и ТЭ [13].

На основании результатов, полученных ранее, нами рассчитаны средние содержания ТЭ в водорослях Забайкальского края [14]. Эти расчётные данные принимаются нами как фоновые. Наиболее представительные данные получены для макрофитной водоросли *Cladophora fracta* из р. Аргунь. Число элементов, превышающих фон, невелико, а превышения незначительны (рис., б). Так, концентрация молибдена превышает фоновую в 2,5–3,0 раза. На участке реки Молоканка-Приаргунск регистрируется содержание Hg, в 1,7 раза превышающее фон. Содержание ТЭ в *C. fracta* в водных объектах бассейна р. Аргунь по ряду элементов значительно отличается от фоновых для Забайкальского края. Наибольшие отличия зарегистрированы в пробах водорослей из резервного водо-

хранилища г. Краснокаменска (Zn, As, Ni), в р. Средняя Борзя на ст. 10 (Mo, Cd, Pb), в р. Калга на ст. 15 (Mn, Co, Mo) (рис., б). Сравнение результатов содержания в воде с ПДК_{рх} в воде и фоном показало для большинства станций список элементов, превышающих средний фоновый уровень концентрации в *C. fracta* шире, чем список элементов при оценке содержания ПДК_{рх}. В то же время превышения фоновых значений незначительны и обусловлены геохимической обстановкой территории. Так как концентрация ТЭ в водорослях не меняется в течение продолжительного времени, то они оказываются информативными для оценки загрязнения воды.

Заключение

Авторами проведена оценка пространственных изменений минерализации и содержания 12 токсичных элементов в воде и макроскопических водорослях. Минерализация воды р. Аргунь за десятилетний период изменялась от 165 до 424 мг/л, с минимумом в весеннее и осеннее половодье, максимумом – зимой. Было обнаружено, что в реках бассейна среди тяжёлых металлов преобладают Fe и Mn. Река Средняя Борзя ниже участков

Таблица 3 / Table 3

Содержание токсичных элементов в макроводорослях бассейна р. Аргунь (мкг/г сухого веса, Mn и Fe в мг/г) / The content of toxic elements in the macroalgae of the Argun River basin (µg/g, dry weight, Mn and Fe in mg/g)

№	Таксон / Taxon	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Cd	Hg	Pb
1	<i>Cladophora fracta</i>	0,3	1,2	0,5	2,6	2,0	24,9	3,5	93,7	2,6	0,7	0,009	2,8
	<i>Spirogyra</i> sp ₁	3,9	0,8	2,3	2,4	6,9	247,3	7,3	64,0	1,2	1,4	0,025	3,3
3	<i>C. fracta</i>	0,4	1,5	0,5	3,4	2,8	13,7	4,3	78,9	2,3	0,2	0,008	1,5
	<i>Spirogyra</i> sp ₁	14,9	0,3	17,1	2,9	7,4	97,4	4,4	72,0	0,8	0,4	0,005	1,7
	<i>Spirogyra</i> sp ₂	2,0	0,9	2,4	2,0	4,5	65,8	7,5	45,1	0,6	0,3	0,019	3,2
	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	0,7	0,9	1,7	3,3	9,0	66,2	10,4	43,7	0,4	0,4	0,004	2,6
4	<i>C. fracta</i>	0,4	1,4	0,9	3,7	26,5	26,3	6,3	100,8	2,0	0,3	0,002	3,4
5	<i>C. fracta</i>	0,2	1,3	0,3	2,9	5,5	20,9	1,9	291,8	2,7	0,2	0,006	4,3
6	<i>C. fracta</i>	1,9	2,1	3,3	4,2	13,5	41,9	2,7	123,8	2,3	0,3	ND	2,4
7	<i>C. fracta</i>	0,8	4,7	3,3	4,5	2,3	71,7	29,5	334,3	0,8	0,5	0,002	4,4
	<i>Spirogyra</i> sp ₁	0,2	0,5	11,9	8	6,7	281,4	18,8	160,9	0,6	0,7	0,003	1,3
8	<i>C. fracta</i>	1,5	2,5	1,1	4,7	3,9	43,7	8,1	225,4	0,3	0,2	0,001	3,2
	<i>Spirogyra</i> sp ₁	2,7	0,8	2,3	4,8	6,7	256,5	4,8	196,0	0,9	0,3	0,003	2,4
10	<i>C. fracta</i>	1,3	2,5	2,2	5,5	13,3	47,0	8,8	212,6	5,4	1,0	0,005	13,3
11	<i>C. fracta</i>	0,4	2,7	0,6	3,3	4,6	22,1	6,0	122,3	0,5	0,1	ND	2,1
14	<i>C. fracta</i>	1,5	1,4	2,0	5,1	3,8	20,5	21,7	272,5	1,1	0,2	0,010	4,3
15	<i>C. fracta</i>	8,6	4,0	8,2	4,7	19,6	55,2	11,7	197,0	5,2	0,3	0,005	5,5

Примечание: ND – ниже порога определения метода.
Note: ND – is below the detection threshold of the method.

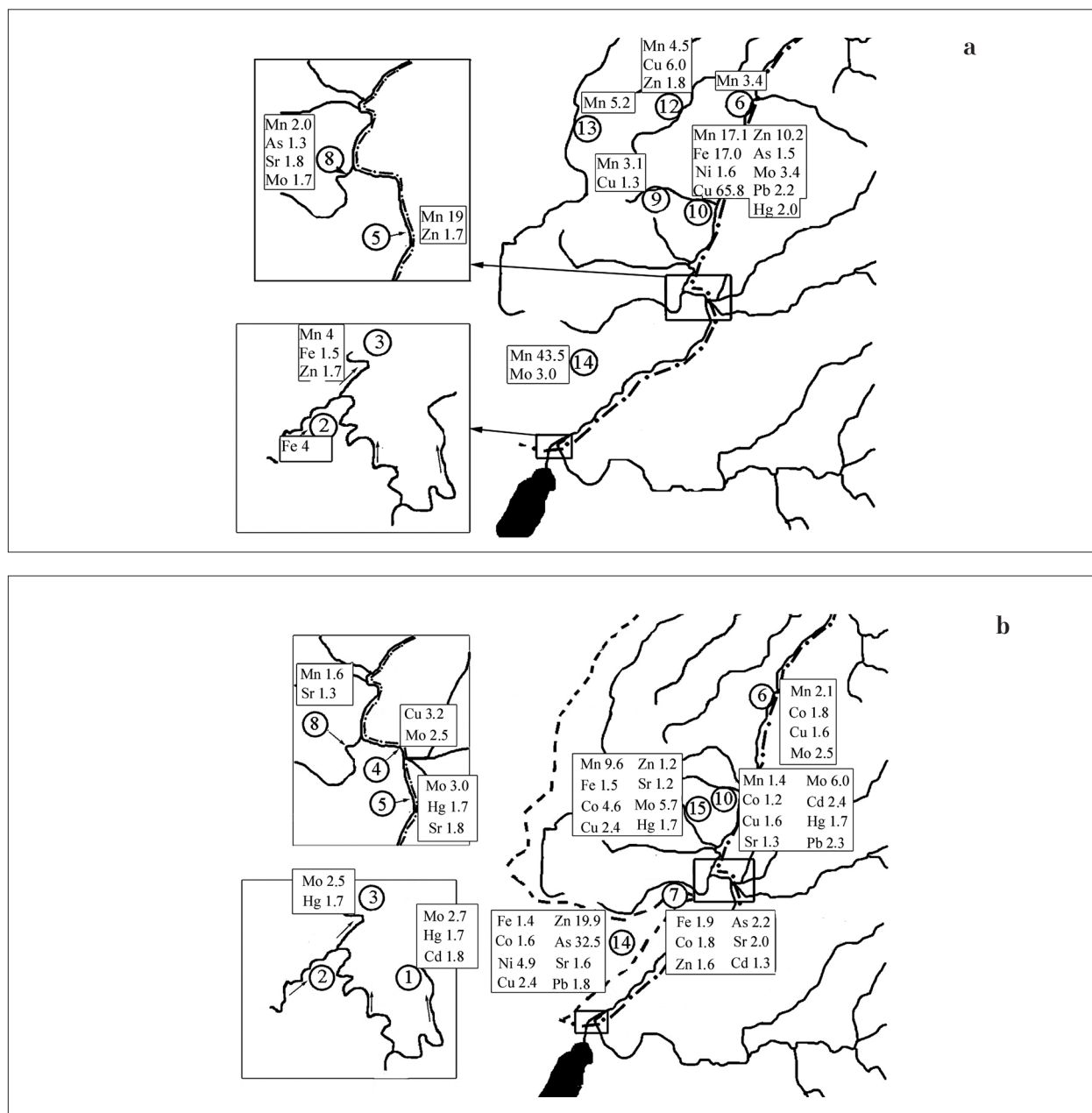


Рис. Оценка загрязнённости водной среды (N раз) в бассейне р. Аргунь:
 а – по нормативу ПДК_{рх}, б – фон в *C. fracta*.
 Fig. Assessment of water pollution (N times) in the basin of the Argun River:
 а – MAC [9], б – background in *C. fracta*

промывки золота является самой загрязнённой токсичными элементами рекой в бассейне р. Аргунь. Здесь превышение в воде по ПДК_{рх} определены для Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg и Pb. Самые высокие концентрации токсичных элементов в *C. fracta* выявлены в резервном водохранилище г. Краснокаменска, куда в зимнее время производится закачка воды из р. Аргунь. Для большинства станций выявлено превышение числа тяжёлых элементов в *C. fracta* из бассейна р. Аргунь относительно средних фоновых концентраций в водоёмах

Забайкальского края над числом металлов в воде, превышающих ПДК_{рх}.

Работа выполнена по программе ФНИ (проект IX.137.1).

Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Приаргунская. Лист М-50-ХП (Нерчинский Завод). Санкт-Петербург: Изд-во СПб картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2001.

2. Wang X., Duan M., Ren Y., Hou Z., Sun D., Hao Y. Characteristics of fluid inclusions and mineralization age of badaguan Cu-Mo deposit in Erguna area, Inner Mongolia // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2016. V. 46. No. 5. P. 1354–1367.

3. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 312 с.

4. Jiang M., Zeng G., Zhang Ch., Ma X., Chen M., Zhang J., Lu L., Yu Q., Hu L., Liu L. Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District // *PLoS One*. 2013. V. 8. P. e71176.

5. Kuklin A.P., Matafonov P.V. Background concentrations of heavy metals in benthos from transboundary rivers of the Transbaikalia region, Russia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2014. V. 92. P. 137–142.

6. ГОСТ 27065-86. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 [Электронный ресурс] <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/> (Дата обращения: 11.03.2015).

7. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Головинский П.Л., Санникова А.Б., Череп Е.И. Эколого-геохимические исследования. Краснодар: Изд. КубГТУ, 2003. 170 с.

8. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективность проведенных водоохраных мероприятий на территории Забайкалгидромета. Чита, 2011. 182 с.

9. Schwertmann U., Carlson L., Fetcher H. Iron oxide formation in artificial ground waters // *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. 1984. V. 46. Issue 2. P. 185–191.

10. Fan Q., He J., Xue H., Lü Ch., Sun Y., Shen L., Liang Y., Bai S. Heavy metal pollution in the Baotou section of the Yellow River, China // *Chemical Speciation and Bioavailability*. 2008. V. 20. No. 2. P. 65–76.

11. U.S. EPA National recommended water quality criteria, US Environmental Protection Agency [Электронный ресурс] <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm> (Дата обращения: 20.03.2017).

12. Куклин А.П. Макрофитные водоросли бассейна реки Аргунь // *Аргунские просторы*. Чита: Экспресс-Издательство, 2009. С. 113–119.

13. Fashola M.O., Ngole-Jeme V.M., Babalola O.O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016. V. 13. No. 11. P. 1047–1067.

14. Kuklin A.P., Pomazkova N.V. Fresh-water macroalgae in monitoring of water pollution by toxic metals in near-border territories // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2017. V. 3. P. 812–820.

References

1. State geological map of the Russian Federation. Series Priargunskaya. Sheet M-50-XII (Nerchinskiy

Zavod). Sankt-Petersburg: VSEGEI, 2001 (in Russian).

2. Wang X., Duan M., Ren Y., Hou Z., Sun D., Hao Y. Characteristics of fluid inclusions and mineralization age of badaguan Cu-Mo deposit in Erguna area, Inner Mongolia // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2016. V. 46. No. 5. P. 1354–1367. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.201605108.

3. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V. Biomonitoring of metals in freshwater ecosystems. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 311 p. (in Russian).

4. Jiang M., Zeng G., Zhang Ch., Ma X., Chen M., Zhang J., Lu L., Yu Q., Hu L., Liu L. Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District // *PLoS One*. 2013. V. 8. P. e71176. doi: 10.1371/journal.pone.0071176.

5. Kuklin A.P., Matafonov P.V. Background concentrations of heavy metals in benthos from transboundary rivers of the Transbaikalia region, Russia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2014. V. 92. P. 137–142. doi: 10.1007/s00128-013-1179-0.

6. ГОСТ 27065-86. Standards of water quality of water bodies of fishery significance, including maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water objects of commercial fishing importance. Federalnoye agentstvje po rybolovstvu. Prikaz ot 18.01.2010. No. 20 [Internet resource] <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/> (Accessed: 11.03.2015) (in Russian).

7. Alekseyenko V.A., Suvorinov A.V., Golovinskiy P.L., Sannikova A.B., Cherep E.I. Ecological and geochemical research. Krasnodar: Izdatelstvo KubGTU, 2003. 170 p. (in Russian).

8. Yearbook of the quality of surface waters and the effectiveness of water protection measures in the territory of Zabaikalgidromet. Chita, 2011. 182 p. (in Russian).

9. Schwertmann U., Carlson L., Fetcher H. Iron oxide formation in artificial ground waters // *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. 1984. V. 46. P. 185–191.

10. Fan Q., He J., Xue H., Lü Ch., Sun Y., Shen L., Liang Y., Bai S. Heavy metal pollution in the Baotou section of the Yellow River, China // *Chemical Speciation and Bioavailability*. 2008. V. 20. No. 2. P. 65–76. doi: 10.3184/095422908X322824.

11. U.S. EPA. National recommended water quality criteria, US Environmental Protection Agency [Internet resource] <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm> (Accessed: 20.03.2017).

12. Kuklin A.P. Macrophytic algae of the Argun River basin // *Argunskiye prostory*. Chita: Ekspress-Izdatelstvo, 2009. P. 113–119 (in Russian).

13. Fashola M.O., Ngole-Jeme V.M., Babalola O.O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016. V. 13. No. 11. P. 1047–1067. doi: 10.3390/ijerph13111047.

14. Kuklin A.P., Pomazkova N.V. Fresh-water macroalgae in monitoring of water pollution by toxic metals in near-border territories // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2017. V. 3. P. 812–820.

Content of heavy metals in urban surface water bodies

© 2019. E. G. Riabova^{ORCID: 0000-0002-8445-9454},
State University “Dubna”, branch “Ugresha”,
24, Akademika Zhukova St., Dzerzhinsky, Russia, 140090,
e-mail: ryabova_elhana@mail.ru

Today urban territories became the main habitat for people, but together with the rising level of economic and social advantages, they also have some ecological problems. And one of them is the pollution of urban water bodies with different toxicants, such as heavy metals. In this study, the analysis of surface water bodies carried out to containing of some heavy metals, such as: Pb, Fe, Mn, Sr, Zn, Cd and Cu, as well as comparison of obtained results with the results of previous research in 2006. During the research it was found that the main heavy metal contaminating town water bodies is cadmium (Cd), which average concentration is thirtyfold higher than allowed statutory level of contaminants for water bodies to amenity needs. Maximal concentration of Cd is 37 MPC_{an} (maximum permissible concentration in water bodies to amenity needs) was evidenced in the pond inside the industrial area. The other heavy metals found in water bodies and benthic sediments in concentrations 2–5 MPC_{an} were Pb, Fe and Mn. The results were compared with the previous research data in 2006, and it should be noticed, that during the eleven years concentrations of Pb and Mn lowered a bit, but they are still higher than MPC_{an}. At the same time, concentrations of Fe and Cd have slightly increased. In regards to heavy metals' concentrations in sediments, their dynamics changed a little. Basing to the obtained data, the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) was calculated. This index characterizes water pollution rate, and for water bodies in Dzerzhinsky town SCWPI was 11 points, which indicates that surface waters in the town could be classified as “strongly polluted waters”.

Keywords: surface water bodies, heavy metals, benthic sediments, specific combinatorial water pollution index, Dzerzhinsky town.

УДК 556.531.4

Содержание тяжёлых металлов в городских водоёмах

© 2019. Э. Г. Рябова, ассистент,
Государственный университет “Дубна”, филиал “Угреша”,
140090, Россия, г. Дзержинский, ул. Академика Жукова, 24,
e-mail: ryabova_elhana@mail.ru

В данной работе был проведён анализ воды и донных отложений из поверхностных водоёмов г. Дзержинский Московской области на содержание ряда тяжёлых металлов (ТМ): Pb, Fe, Mn, Sr, Zn, Cd и Cu, а также сравнение полученных результатов с данными исследования, проводившегося в 2006 г. В результате исследования было установлено, что основным ТМ, оказывающим негативное влияние на городские водные объекты, является кадмий, средняя концентрация которого в воде находится на уровне 30 ПДКк-б (предельно допустимая концентрация для водоёмов культурно-бытового назначения), а максимальная – достигает 37 ПДКк-б для водоёма в промышленной зоне города. Другими ТМ, находящимися в воде и донных отложениях в концентрациях 2–5 ПДКк-б, являются свинец, железо и марганец. На основании полученных данных был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ), характеризующий степень загрязнённости поверхностных водных объектов в г. Дзержинский, составивший 11 баллов, из чего следует, что поверхностные воды города относятся к 4 классу, разряд «Г» – «очень грязные воды».

Ключевые слова: поверхностные водоёмы, тяжёлые металлы, донные отложения, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды, г. Дзержинский.

Nowadays water pollution with heavy metals (HM) is one of the most serious problems for all urban territories. Heavy metals are highly toxic substances, which are able to accumulate in living organisms and transfer to food chain, influence negatively both on the environment and human health.

World Health Organization (WHO) introduced standards of drinking water quality [1] including heavy metals content, which is similar to Russian maximum permissible concentration (MPC) standards.

Nevertheless, annual researches indicate the presence of heavy metals in water and ben-

thic sediments all over the world, but HM in dangerous concentrations mainly pointed in water bodies of the developing countries, like Vietnam [2], Bangladesh [3], Argentina [4] and also China [5–7]. In Europe strong concentrations of HM in sediments are pointed for countries of the East and Central Europe, for example, in Poland (the Upper Silesian region) [8], but also there are some works, dedicated HM water pollution in the West Europe, such as in Great Britain [9, 10].

In Russia, the problem of water bodies' pollution with heavy metals is also well-known for a long time, but, according to number of researches, it's still actual one. So, in annual report "Surface water quality in Russian Federation" with annex for 2016 [11] there is pointed, that the highest pollution level of surface water bodies was for manganese, cuprum, iron, zinc, cadmium, and hexavalent chromium Cr (VI) compounds. Concentrations of these heavy metals exceed maximum permissible concentration in water bodies to amenity needs (MPC_{an}) up to 10–50 times. Exceeding MPC_{an} level for lead is average 10 times. Data from annual report is equal with results of the other independent researches of surface water bodies in Russia [12, 13].

For Moscow region as a high-urbanized territory, the estimation of the environmental conditions, including water bodies, is one of the high-priority task necessary for creating and maintaining safe and healthy environment. This is right to Dzerzhinsky town as well. Being a satellite town of Moscow city, Dzerzhinsky has a serious anthropogenic pressure on landscapes and water bodies from Moscow industries, like Kurianovskiy wastewater treatment facilities or Moscow Refinery plant, and from its own industrial objects, like Central Heating and Power plant No. 22 (CHPP-22) and so on.

Besides that, another possible source of anthropogenic influence could be a farming company "NIVA" situated near CHPP-22, and its fertilizes, mainly phosphates, could pollute the river with heavy metals with flush water [15].

According to this, the actual task of this research is to analyze water and sediments to define their HM pollution level according to standard of MPC_{an} . And the research objective is to analyze HM concentrations in the water and sediments in 2017 and comparing them with the data of previous research in 2006. To achieve this the following task it was done:

- to collect samples of water and sediments and analyze them to heavy metals concentrations;

- to compare the results with the data of previous research in 2006;

- to count the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) of surface water bodies in Dzerzhinsky.

Subjects and methods of research

Water and sediments' samples were taken from all the town surface water bodies at the beginning of October 2017. There are nine points: the Moskva river (points T1 and T9); the pond in the territory of the Ugreshsky Monastery of St. Nicholas (the Monastery pond) – point T2; the Upper pond (point T3) in the Victory public garden; two depleted sand pits – the Little sand pit (points T4 and T5) and the Large sand pit (points T7 and T8), and one pond in the industrial area (point T6). All sampling points are shown at Figure 1.

All the samples were analyzed with atomic absorption spectrophotometer "Shimadzu AA-6200" to the next heavy metals: Zn, Sr, Cd, Cu, Pb, Fe and Mn. Water samples were prepared according to mass concentration of HM in water definition method. Accomplish this 100 ml of analyzed water was taken into the 250 ml beaker and acidified with concentrated nitric acid (HNO_3) to pH = 1–2. Then, 50 ml of prepared water sample was placed into 50 ml flask and analyzed to seven heavy metals with atomic absorption spectrophotometer (AAS).

Sediments' samples were prepared according to definition methods of total HM and mobile forms of HM in soils and dust. Accomplish this sediments' samples were placed to the 250 ml beaker and dried a few days at room temperature. Then, 1 g of sediments was triturated, weighted with the analytical balances, placed into 50 ml heat-resistant beaker and acidified with 20 ml 1 n. HNO_3 for total HM and with 20 ml 0.1 n. HCl for mobile forms of HM. After that sample was brought to boil on sand bath, then cooled down and infiltrated through ashless paper filter into 25 ml flask then made up to volume with distilled water. After that, prepared samples analyzed with atomic absorption spectrophotometer.

Then, according to HM data, SCWPI [16] was calculated for all urban surface water bodies. SCWPI is a relative integrated index, which estimates a complex water pollution from different pollutants in different combination, and the contribution of each pollutant in the total water object pollution [17]. The specific combinatorial water pollution index was counted in Microsoft Excel for all seven HM, the total value for all pollut-



Fig. 1. Points of water sampling from Dzerzhinsky surface water bodies

ants in the water body equals eleven (SCWPI = 11), which indicates that in accordance with “K” Annex of RD 52.24.643-2002 [17] surface waters in Dzerzhinsky town could be classified as “strongly polluted waters”.

Results and discussion

The result of this research was, that all surface water bodies in Dzerzhinsky town were strongly polluted with cadmium ($Cd_{max} = 37 MPC_{an}$) as well as Pb, Fe and Mn heavy metals

(2–5 MPC_{an}). Obtained results were compared with the results of previous research in 2006 [14], as demonstrated at Figure 2 (see color insert). The results for all water bodies in mg/L and their MPC_{an} [18] are shown in Table 1.

It should be noticed, that cadmium pollution level has been increased for most water bodies in 2017 in comparison with 2006 (Fig. 2) Besides that, as it was told before, practically in all urban water bodies the HM concentrations are higher than MPC_{an} . It's 2–5 MPC_{an} for Pb, 2–3 MPC_{an} for Mn and nearly 2–2.5 MPC_{an} for Fe (Fig. 2).

Table 1
Concentrations of heavy metals in surface water bodies in Dzerzhinsky town (mg/L) in 2017 year

Water body	HM in water samples in 2017 (mg/L)						
	Zn	Pb	Cu	Sr	Fe	Mn	Cd
Point T1	0.05	0.020	0.068	5.17	0.777	0.258	0.030
Point T2	0.09	0.028	0.078	2.76	0.633	0.318	0.035
Point T3	0.01	0.017	0.034	3.12	0.611	0.364	0.028
Points T4–T5	0.12	0.031	0.049	5.95	0.259	0.068	0.028
Point T6	1.00	0.049	0.058	4.61	0.683	0.122	0.037
Points T7–T8	0.04	0.033	0.427	6.02	0.270	0.273	0.017
Point T9	0.25	0.021	0.082	5.17	0.734	0.246	0.035
MPC_{an} [18]	1	0.01	1	7	0.3	0.1	0.001

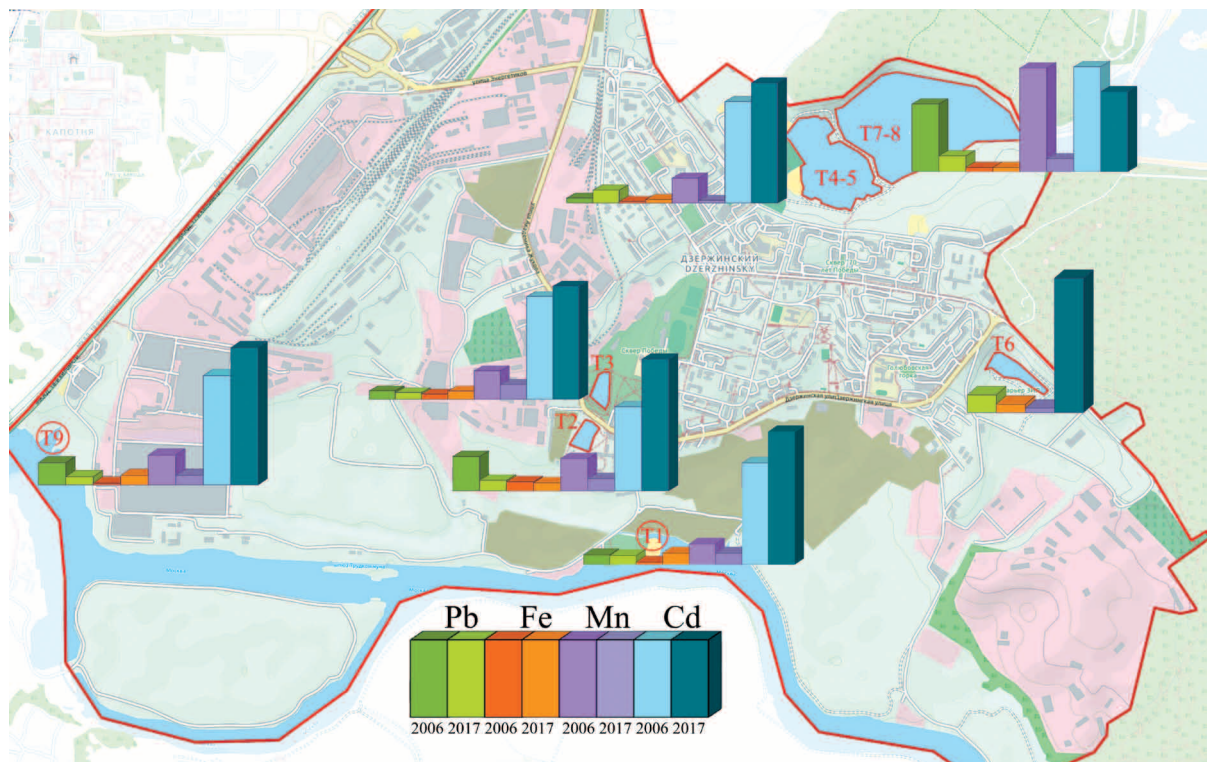


Fig. 2. HM content above MPC_{an} in urban water bodies in 2006 and 2017. Left to right: Pb, Fe, Mn, Cd.
 MPC_{an} 2006/2017: $C_{Pb} = 1.2-14.2 MPC_{an} / C_{Pb} = 1.6-4.8 MPC_{an}$; $C_{Fe} = 0.4-2.4 MPC_{an} / C_{Fe} = 0.8-2.6 MPC_{an}$;
 $C_{Mn} = 4.6-21.7 MPC_{an} / C_{Mn} = 1.2-3.6 MPC_{an}$; $C_{Cd} = 22.0-28.0 MPC_{an} / C_{Cd} = 16.8-36.8 MPC_{an}$

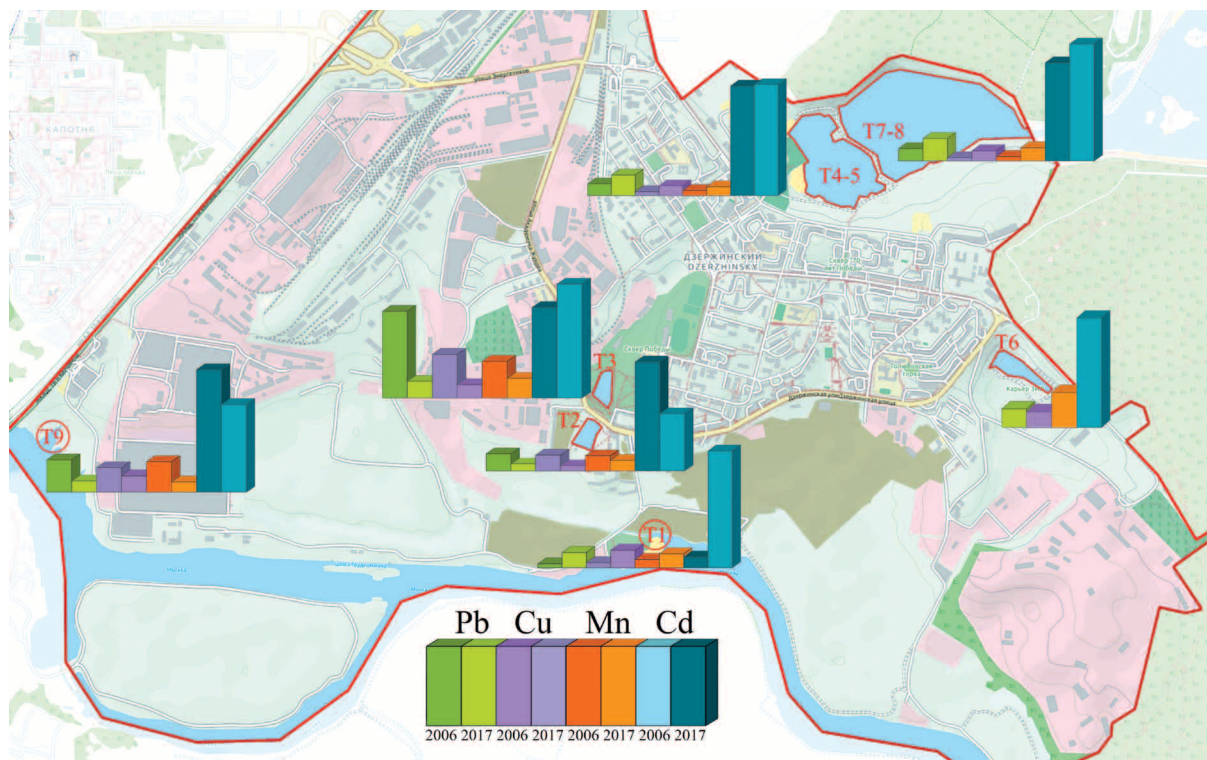


Fig. 3. HM content in benthic sediments ($C_{fact}/C_{background}$) in 2006–2017. Left to right: Pb, Cu, Mn, Cd.
Exceeding of background concentrations in 2006/2017: $C_{Pb} = 0.2-2.9 / C_{Pb} = 0.6-1.0$;
 $C_{Cu} = 0.2-1.6 / C_{Cu} = 0.4-0.9$; $C_{Mn} = 0.2-1.7 / C_{Mn} = 0.4-1.9$; $C_{Cd} = 0.4-10.7 / C_{Cd} = 3.9-5.8$

Table 2

Concentrations of heavy metals (total and mobile forms) in benthic sediments of Dzerzhinsky town (mg/kg) in 2017 year

Water body	HM in sediments, total (t) and mobile (m) forms (mg/kg)													
	Zn (t)	Zn (m)	Pb (t)	Pb (m)	Cu (t)	Cu (m)	Sr (t)	Sr (m)	Fe (t)	Fe (m)	Mn (t)	Mn (m)	Cd (t)	Cd (m)
Point T1	48.58	13.69	17.92	1.98	21.19	1.41	4.54	7.30	178.71	7.33	356.06	346.67	1.41	1.07
Point T2	51.43	3.57	19.84	2.32	15.51	0.34	2.83	5.03	63.28	0.93	657.57	430.30	1.69	0.48
Point T3	19.64	1.86	16.54	2.65	13.57	0.36	4.26	5.46	50.41	1.00	422.73	351.52	1.16	0.75
Points T4–T5	16.26	1.64	24.39	2.32	12.05	0.49	5.14	4.36	49.53	1.94	228.80	245.10	1.36	0.81
Point T6	54.50	7.97	28.82	1.74	25.26	2.38	4.18	5.31	138.08	0.76	1189.39	490.15	1.76	1.82
Points T7–T8	16.00	1.61	26.04	2.27	12.10	0.60	4.68	4.36	69.25	3.05	331.82	254.55	1.41	0.77
Point T9	51.12	13.50	18.54	1.98	27.68	2.04	2.06	6.73	171.95	4.91	373.12	309.19	1.49	1.09
$C_{background} / MPC^*$	55*	23	29	6.0	30	3.0	31	10***	6500**	–	635	500****	0.5*	0.5

Note:

* for Zn(t) and Cd(t) the MPC are given, $C_{background}$ are taken from [19];

** according to [21];

*** by [22];

**** MPC for mobile form of Mn extracting from soddy-podzolic soils with 0.1 n H_2SO_4 solution with pH ≥ 6 [20].

Concentrations of Zn, Cu and Sr changed insignificantly, and their content in water bodies was under MPC_{an}.

Sediments' samples were analyzed for total HM and mobile forms of heavy metals. Received data of total amount of HM compared with such data from previous research in 2006 are shown at Figure 3 (see color insert). Results of the analysis are shown in Table 2. According to received data, all benthic sediments in Dzerzhinsky town are characterized with MPC exceeding both for total and mobile form of Cd.

Also, according to resulting data, SCWPI was counted in accordance with method of Directive document RD 52.24.643-2002 [16, 17], and it has been discovered that for water bodies in Dzerzhinsky town SCWPI was 11 points, which indicates that surface waters could be classified as “strongly polluted waters”.

Conclusions

In this study the estimation of surface water bodies in Dzerzhinsky town has been made. As a result of this work it was discovered, that all urban water bodies suffered from anthropogenic impact, including strongly heavy metals' pollution. HM concentrations are higher than maximum permissible concentration in water bodies to amenity needs. It's 2–5 MPC_{an} for Pb, Mn and Fe, and nearly 37 MPC_{an} for Cd. All sediments are also characterized with concentration of Cd = 2–3.5 MPC_{an}.

Comparing these results with the research in 2006, it should be noticed, that during the previous eleven years concentrations of Pb and Mn lowered a bit, but they are still higher than MPC_{an}. At the same time, concentrations of Fe and Cd have slightly increased. In regards to HM concentrations in sediments, their dynamics changed a little.

After counting SCWPI, it was discovered, that urban surface waters could be classified as “strongly polluted waters”. The critical aspect of this is that both Cd and Pb are toxicants of the first class of hazard, and their concentrations in water bodies should be minimalized.

All aforementioned data have an essential importance because of most part of urban water bodies used as the recreation zones. And if the Monastery pond (T2) and the Upper pond (T3) used only for visual recreation, without swimming (though there were some cases of fishing at the Upper pond), but the Little (T 4–5) and the Large (T 7–8) sand pits used as the full-scale recreation zones with organized beaches and swimming possibility.

In accordance with this fact, it's necessary to pay the close attention at those two sand pits, including their regular cleaning and control of the pollution level under the MPC_{an} standards. Annual monitoring of their condition is also needed. In regard to the Monastery pond and the Upper pond it's also necessary to take integrated rehabilitation actions, including unwatering with the next bottomcleaning, as well as regular monitoring of the pollution level in these water bodies.

References

- World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. 2017. 631 p. <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>.
- Zolotokopova S.V., Ngo The Cuong, Tran Hoan Quok. Influence of the ecological state of the Serepok river (Vietnam) on accumulation of heavy metals in organs of fish // *Vestnik AGTU, Fishery series*. 2017. No. 3. P. 98–105 (in Russian).
- Md Saiful Islam, Md Kawser Ahmed, Mohammad Raknuzzaman, MdHabibullah -Al-Mamun, Muhammad Kamrul Islam. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country // *Ecological Indicators*. 2015. V. 48. P. 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>.
- Magdaleno A., Cabo L., Arreghini S., Salinas C. Assessment of heavy metal contamination and water quality in an urban river from Argentina // *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. 2014. V. 18. P. 113–120. <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v18n1.p113-120>.
- Wang J., Zhao Y., Yang L., Tu N., Xi G., Fang X. Removal of heavy metals from urban stormwater runoff using bioretention media mix // *Water*. 2017. V. 9 (11). P. 854. <https://doi.org/10.3390/w9110854>.
- Wu B., Wang G., Wu J., Fu Q., Liu C. Sources of heavy metals in surface sediments and an ecological risk assessment from two adjacent plateau reservoirs // *PLOS ONE*. 2014. V. 9 (7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102101>.
- Liu J., He L., Wang J., Chen Y., Qi J., Yin M., Luo X., Lin Y., Wang C. Temporal trends of thallium pollution in fluvial sediments of the North River, South China // 18th International Conference on Heavy Metals in the Environment, Belgium, 2016. [Internet resource] <https://ojs.ugent.be/ichmet/article/view/3762/3738> (Accessed: 05.03.2019).
- Rzętała M., Jaguś A., Rzętała M., Rahmonov O., Rahmonov M., Khak V. Variations in the chemical composition of bottom deposits in anthropogenic lakes // *Pol. J. Environ. Stud.* 2013. V. 22. No. 6. P. 1799–1805.
- Durrant C., Stevens J., Hogstrand C., Bury N. The effect of metal pollution on the population genetic structure of brown trout (*Salmo trutta* L.) residing in the River Hayle, Cornwall, UK // *Environmental Pollution*. 2014. V. 159. Issue 12. P. 3595–3603. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.005>.
- Tatsi K., Turner A. Distributions and concentrations of thallium in surface waters of a region impacted by historical metal mining (Cornwall, UK) // *Science of the Total Environment*. 2014. V. 473–474. P. 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.003>.
- FSBI Hydrochemical Institute. Surface water quality in Russian Federation in 2016. Annual with Appendix. Rostov-na-Donu, 2017. 556 p. (in Russian).
- Ulzetueva I.D., Gomboev B.O. The condition of surface water of Selenga river basin // *Nature of Inner Asia*. 2016. No. 148. P. 61–68 (in Russian).
- Kondratieva T.A., Vybornova I.B., Ismailova R.N. The estimation of the ecological state of reservoirs in Kazan city // *Vestnik Kazanskogo technologicheskogo universiteta*. 2013. No. 3. P. 151–155 (in Russian).
- Baloyan B.M., Chudnova T.A., Yudina N.V., Manaenkova E.A. The estimation of the environmental conditions of Dzerzhinsky town in 2006. Under the editorship of Baloyan B.M. Dzerzhinsky, College “Ugresha”. 2008. 198 p. (in Russian).
- Yanin E.P. Sources and routes of heavy metals entry into the rivers of cultivated lands. Moskva: IMGRE, 2004. 40 p. (in Russian).
- Smirnova V.M., Makeev I.S., Blagodatkina A.V. Method of the integral estimation the pollution level of surface water by hydrochemical indexes. Definition of the specific combinatorial water pollution index (SCWPPI) and water quality class. Nizhniy Novgorod: NGTU, 2015. 49 p. (in Russian).
- RD 52.24.643-2002. Directive document. Procedural guidelines. Method of integral assessment of hydrochemical index of surface water contamination level. Moskva, 2004. 21 p. (in Russian).
- GN 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentrations of chemical compounds in waters for drinking and household usage and water bodies for amenity needs. Moskva, 2003. 154 p. (in Russian).
- Uvarov A.G. Estimation the extent pollution by heavy metals the Moscow river, and possibility of use the *Potamogeton* macrophytes for biomonitoring the heavy metals in the river // *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015. V. 17. No. 6. P. 150–158 (in Russian).
- GN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical compounds in soils. Moskva, 2006. 15 p. (in Russian).
- Annual Report. Soil Pollution in Russian Federation with human-made toxicants. Obninsk: FSBI “NPO “Tayfun”. 2017. 99 p. (in Russian).
- Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V. Strontium in the soil – fertilizers (Ameliorants) – natural water – plants – animals (Humans) system // *Agrochemistry*. 2008. No. 5. P. 73–86 (in Russian).

Пектиновые полисахариды каллусной ткани стебля борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.)

© 2019. Е. Н. Гордина, ассистент, А. А. Злобин, к. х. н., доцент,
Е. А. Мартинсон, к. т. н., директор института,
С. Г. Литвинец, к. с.-х. н., проректор,
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
e-mail: l-e-n-o-k@bk.ru, biotech.vgu@gmail.com, litvinets@list.ru

Неконтролируемое распространение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в средней полосе Российской Федерации является актуальной проблемой, так как площади, занятые растением, с каждым годом значительно увеличиваются.

Применяемые методы борьбы с борщевиком (выкашивание, обработка гербицидами, использование геотекстиля и т. д.) недостаточно эффективны, так как его семена сохраняют всхожесть продолжительное время, а корни глубоко проникают в почву. Данные методы не предполагают использование биомассы борщевика, которая может служить источником физиологически активных веществ, в том числе пектиновых полисахаридов, содержание которых в растении составляет 10–17%. Кроме того, строение и свойства водорастворимых гликанов борщевика Сосновского изучены недостаточно полно.

Для получения водорастворимых полисахаридов использовали каллусную ткань стебля борщевика Сосновского, так как культуры клеток и тканей растений являются модельным объектом для синтеза фитополисахаридов. Для изучения состава и строения водорастворимых полисахаридов каллусной ткани борщевика использовали частичный кислотный и ферментативный гидролиз, ультрафильтрацию, ионообменную хроматографию, а также метилирование.

Было показано, что водорастворимые гликаны каллуса борщевика представлены резервными полисахаридами – арабинанами, галактанами и/или арабиногалактанами с содержанием урсонных кислот до 24%, а также пектиновыми полисахаридами – линейным гомогалактуронаном (рамногалактуронаном) и рамногалактуронаном-I, с содержанием галактуроновой кислоты 70,5–73,9%.

Результаты метилирования позволяют предположить, что углеводные цепи резервных полисахаридов образуются 1,5-связанными остатками L-арабинофуранозы, 1,6- и 1,3,6-связанными остатками D-галактопиранозы, 1,4- и 1,4,6-связанными остатками D-глюкопиранозы и 1,3,6-связанными остатками D-маннопиранозы, а на нередуцирующих концах их углеводных цепей локализованы терминальные остатки D-ксилопиранозы и D-глюкопиранозы. В состав боковых углеводных цепей пектиновых полисахаридов входят 1,5-связанные остатки L-арабинофуранозы, 1,6- и 1,3,6-связанные остатки D-галактопиранозы, 1,4-связанные остатки D-глюкопиранозы, 1,4-связанные остатки D-ксилопиранозы, 1,3,6-связанные остатки D-маннопиранозы, а также 1-связанные остатки D-глюкопиранозы и D-ксилопиранозы.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi* Manden., каллусная ткань, водорастворимые полисахариды, пектиновые полисахариды, моносахаридные остатки, ионообменная хроматография, хромато-масс-спектрометрия, метилирование.

Pectic polysaccharides of callus tissue of the stem of *Heracleum sosnowskyi* Manden.

© 2019. E. N. Gordina ORCID: 0000-0002-7490-9132, A. A. Zlobin ORCID: 0000-0002-2129-8999,
E. A. Martinson ORCID: 0000-0002-0364-4106, S. G. Litvinets ORCID: 0000-0001-8583-5274,
Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: l-e-n-o-k@bk.ru, biotech.vgu@gmail.com, litvinets@list.ru

The uncontrolled growth of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in the central regions of the Russian Federation is a pressing problem, because areas occupied by this plant significantly increase each year.

The methods used for the destruction of Sosnovsky's hogweed (mowing, the use of herbicides, the use of geotextile, etc.) are not effective enough, because the hogweed seeds remain viable for a long time, and its roots penetrate deep into the soil. These methods do not involve the use of Sosnovsky's hogweed biomass, which can serve as a source of physiologically active substances, including pectin polysaccharides, whose content in the plant is 10 to 17%. In addition, the structure and properties of water-soluble glycans of the Sosnovsky's hogweed are not fully understood.

Cultures of plant cells and tissues are a model object for the synthesis of phytopolysaccharides, therefore we used the callus tissue of the Sosnovsky's hogweed stem to obtain water-soluble polysaccharides. We used partial acid and enzymatic hydrolysis, ultrafiltration, ion-exchange chromatography, and methylation, in order to study the composition and structure of water-soluble polysaccharides of the Sosnovsky's hogweed callus tissue.

We have found that water-soluble glycans from Sosnovsky's hogweed callus are reserve polysaccharides – arabinans, galactans and/or arabinogalactans content of uronic acids with up to 24%, and pectic polysaccharides – linear gomogalakturonan (ramnogalakturonan) and ramnogalakturonan-I, with a galacturonic acid content of 70.5–73.9%.

We obtained the results of methylation which suggest that the carbohydrate chains of the reserve polysaccharides are formed by 1,5-linked L-arabinofuranose residues 1,6- and 1,3,6-linked D-galactopyranose residues, 1,4- and 1,4,6-linked residues of D-glucopyranose and 1,3,6-linked residues of D-mannopyranose, and terminal residues of D-xylopyranose and D-glucopyranose are located at the non-reducing ends of their carbohydrate chains. The carbohydrate side chains of pectin polysaccharides include 1,5-linked L-arabinofuranose residues, 1,6- and 1,3,6-linked D-galactopyranose residues, 1,4-linked D-glucopyranose residues, 1,4-linked D-xylopyranose residues, 1,3,6-linked D-mannopyranose residues, as well as 1-linked D-glucopyranose and D-xylopyranose residues.

Keywords: *Heracleum sosnowskyi* Manden., callus tissue, water-soluble polysaccharides, pectin polysaccharides, monosaccharide residues, ion exchange chromatography, chromato-mass spectrometry, methylation.

Несмотря на актуальность проблемы неконтролируемого распространения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в средней полосе России, эффективных методов борьбы с ним не разработано.

В то же время биомассу борщевика можно использовать как источник биологически активных веществ, включая пектины. Несмотря на высокое содержание (до 17%) пектинов в борщевике, их строение и свойства изучены недостаточно полно [1–3]. Культуры клеток и тканей различных растений являются удобным объектом для изучения биосинтеза гликанов, а также наработки фитополисахаридов с относительно постоянным составом и строением для определения структурной детерминированности их физиологической активности [4–7].

Целью данной работы является химическая характеристика пектиновых полисахаридов каллусной ткани стебля борщевика Сосновского.

Объекты и методы исследования

Каллусную ткань стебля борщевика Сосновского культивировали в темноте при 26 °С на питательной среде Мурасиге-Скуга (MS) с добавлением агара – 7 г/л, сахарозы – 30 г/л, глицина – 2 мг/л, мио-инозита – 100 мг/л, витаминов по прописи Стаба и фитогормонов 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) – 2,0 мг/л и 6-бензиламинопурина (6-БАП) – 0,1 мг/л. Масса эксплантов – 50–60 мг. Длительность культивирования – 21 сут.

Количественное содержание остатков галактуроновой кислоты в полисахаридах определяли реакцией с 3,5-диметилфенолом [8], белка – по методу Лоури [9] с использованием бычьего сывороточного альбумина,

содержание метоксильных групп – по методу [10]. Спектрофотометрические определения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-mini 1240 (Япония).

Идентификацию моносахаридных остатков проводили методом газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (ГЖХ-МС) в виде триметилсилильных (ТМС) эфиров после кислотного гидролиза фракций полисахаридов 2М раствором трифторуксусной кислоты (ТФУ) при 100 °С в течение 5 ч. Количественное определение моносахаридных остатков проводили с помощью ГЖХ-МС после гидролиза образцов 2М раствором ТФУ, содержащей в качестве внутреннего стандарта мио-инозит (0,1 мг/мл), при 100 °С в течение 4 ч, с последующим восстановлением моносахаридов боргидридом натрия в 2М растворе гидроксида аммония в течение 4 ч и ацелирования полиолов уксусным ангидридом [11].

Для метилирования пектиновых полисахаридов каллуса использовали метод Хакамори [12]. Гидролиз метилированных полисахаридов проводили 2М раствором ТФУ при 100 °С в течение 5 ч. Метилловые эфиры моносахаридов переводили в соответствующие ацетаты полиолов и анализировали методом ГЖХ-МС.

ГЖХ-МС ТМС-эфиров моносахаридов, перацетатов полиолов и частично метилированных ацетатов полиолов проводили на газовом хроматографе G2589A (Agilent Tech., США) с масс-селективным детектором 5973 INERT (Agilent Tech., США) на капиллярной колонке HP-5MS (0,25 мм x 30 м, Hewlett-Packard, США). Количество вводимой пробы – 1 мкл. Температура испарителя – 260 °С. Температурный режим термостата колонки – 175 → 250 °С (градиент – 3 °С/мин) для ТМС-

эфиров и перацетатов полиолов; 130 → 250 °С (градиент – 5 °С/мин) для метилированных ацетатов полиолов.

Ионообменную хроматографию пектиновых полисахаридов проводили на колонке (37 см x 1,5 см) с DEAE-целлюлозой (Fluka, Германия) в Cl⁻-форме ступенчатым элюированием 0,01; 0,1; 0,2 и 0,3 М растворами NaCl со скоростью потока растворителя 30 мл/ч. Выход фракций полисахаридов из колонки контролировали качественной реакцией по методу [13]. Фракции, соответствующие отдельным пикам, диализовали и лиофильно высушивали.

Ультрафильтрацию растворов пектиновых полисахаридов проводили с помощью ячейки концентратора Vivacell 250 (Владисарт, Россия) и мембран Vivacell 250, ПЭС (Владисарт, Россия) с отсекаемыми среднемассовыми молекулярными массами – 10, 30 и 100 кДа. Полученные фракции полисахаридов упаривали до минимального объёма под вакуумом и лиофильно высушивали.

Частичный кислотный гидролиз пектиновых полисахаридов проводили 0,05 М раствором ТФУ при 100 °С в течение 8 ч. Осадок отделяли центрифугированием и лиофильно высушивали. К супернатанту приливали 4-х кратный объём 96%-ного этанола, отделяли осадок центрифугированием, промывали этиловым спиртом, растворяли в дистиллированной воде, доводили pH полученного раствора до 4,5–5,0 с помощью разбавленного (1:1) раствора NH₄OH, диализовали и лиофильно высушивали. К водно-спиртовому супернатанту приливали 10-ти кратный объём 96%-ного этанола и обрабатывали осадок полисахаридов как описано выше, а супернатант упаривали досуха и идентифицировали свободные моносахариды в виде ТМС-эфиров методом ГЖХ-МС.

Ферментативный гидролиз пектиновых полисахаридов проводили с помощью α-1,4-эндо-полигалактуроназы *Rhizopus* sp. (Sigma, США). Длительность ферментализации контролировали с помощью метода [14] до прекращения увеличения концентрации в ферментализате восстанавливающих сахаров. Фермент инактивировали при 100 °С в течение 10 мин. Денатурированный белок отделяли центрифугированием и последовательно осаждали продукты ферментализации 4-х и 10-ти кратными объёмами 96% этанола. Полученные осадки растворяли в дистиллированной воде, диализовали и лиофильно высушивали.

Для выделения водорастворимых полисахаридов (ВРПС) каллусную ткань раз-

рушали однократным замораживанием-оттаиванием, обрабатывали 0,4%-ным раствором формалина при 50 °С для инактивации ферментов, а затем последовательно экстрагировали ткань дистиллированной водой при 68 °С (водорастворимые полисахариды – HScI) и 0,7%-ным водным раствором оксалата аммония при 68 °С (пектиновые полисахариды – HScII) после обработки растительного материала при 50 °С разбавленным раствором HCl при pH 3,8–4,0 [15]. Полноту экстракции полисахаридных фракций из каллусной ткани контролировали качественной реакцией по методу [13].

Экстракты упаривали, диализовали и осаждали полисахариды 4-х кратным объёмом 96% этанола, растворяли в дистиллированной воде и лиофильно высушивали.

Все водные растворы, а также пробы для ГЖХ-МС-анализа упаривали под вакуумом при 40–50 °С на роторном испарителе IKA HV 10 basic (Германия). Центрифугирование растворов проводили на центрифуге Sigma 2-16 PK (Германия) в течение 10–15 мин при 3000–9000 об./мин. Термостатирование проб проводили на водяной бане LB-200 (Россия) и в суховоздушном термостате Binder (Германия). Диализ растворов проводили с помощью плёнок для диализа (Cellu-Sep H1, Бельгия) со средними отсекаемыми молекулярными массами 5–8 кДа. Для высушивания растворов образцов использовали лиофильную сушилку ALPHA 2-4LD plus (Германия).

Результаты и обсуждение

Суммарное содержание ВРПС HScI и пектиновых HScII полисахаридов каллуса борщевика Сосновского составило 8,8%. Характеристика полученных фракций приведена в таблице 1.

Из гликуроновых кислот в виде ТМС-производных в составе ВРПС каллуса HScI идентифицированы остатки D-галактуроновой кислоты и следовые количества остатков D-глюкуроновой кислоты, а в HScII – только остатки D-галактуроновой кислоты. Причём фракция пектиновых полисахаридов HScII характеризуется высоким их содержанием (70,0–73,9%) при низком количестве остатков L-рамнозы (0,3–0,7%).

Из нейтральных моносахаридов в составе водорастворимых гликанов HScI преобладают остатки D-галактозы, L-арабинозы, D-глюкозы и D-ксилозы, а в HScII – L-арабинозы и D-галактозы.

Таблица 1 / Table 1

Состав гликанов каллусной ткани борщевика
Composition of glycans of the hogweed callus tissue

Фракция Fraction	Выход Yield, %*	MeO, %	Содержание / Content, %							
			GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	белок protein
HScI	4,2	1,9	24,1	9,7	19,6	0,2	3,1	0,4	5,0	18,0
HScII	4,6	2,7	70,0	10,9	3,8	0,7	0,4	0,3	0,9	9,4

Примечания: * – в пересчёте на сухое вещество каллусной ткани; MeO – метоксильные группы; GalA – D-галактуроновая кислота; Ara – L-арабиноза; Gal – D-галактоза; Rha – L-рамноза; Xyl – D-ксилоза; Man – D-манноза; Glc – D-глюкоза.

Notes: * – calculated on the dry substance of the callus tissue; MeO – methoxyl group; GalA-D – galacturonic acid; Ara-L – arabinose; Gal-D – galactose; Rha-L – rhamnose; Xyl-D – xylose; Man-D – mannose; GLS-d-glucose.

Таблица 2 / Table 2

Состав фракций пектиновых полисахаридов HScII-и после ультрафильтрации
The composition of the pectin polysaccharides' HcII-u fractions after ultrafiltration

Фракция Fraction	Отсекаемая молекулярная масса, кДа / Cut-off molecular weight, kDa	Выход Yield, %*	MeO, %	Содержание / Content, %								
				GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	белок protein	
HScII-1u	> 100	90,8	3,0	68,2	3,5	1,8	0,4	Сл. Tr.	0,1	0,6	11,5	
HScII-2u	10–30	0,8	2,0	34,4	6,4	10,4	0,8	3,9	0,5	12,3	14,5	
HScII-3u	< 10	4,3	1,3	25,0	3,1	4,3	0,2	2,2	0,6	6,9	10,6	

Примечание: Сл. – следовые количества.

Note: Tr. – trace quantities.

Для дальнейшего изучения была выбрана фракция пектиновых полисахаридов HScII каллуса борщевика. При ультрафильтрации HScII через мембраны с отсекаемыми молекулярными массами 10, 30 и 100 кДа были получены фракции, состав которых приведён в таблице 2.

Как следует из полученных результатов, пектиновые полисахариды HScII представлены высокомолекулярными гликанами и являются достаточно гомогенными – выход главной фракции HScII-1u, полученной с помощью мембраны с диапазоном отсекаемых молекулярных масс более 100 кДа, составляет 90,8%.

Можно отметить, что минорные фракции HScII-2u и HScII-3u, входящие в состав пектинов HScII, характеризуются относительно низким содержанием остатков D-галактуронової кислоты (34,4 и 25,0% соответственно) и повышенным количеством остатков D-глюкозы, D-галактозы и D-арабинозы.

При ионообменной хроматографии HScII-1u на DEAE-целлюлозе 0,01; 0,1; 0,2 и 0,3 М растворами NaCl были получены фракции пектиновых полисахаридов с содержанием остатков D-галактуронової кислоты от 41,6 до 70,5% и метоксильных групп от 0,9 до 4,5% (табл. 3).

При ионообменной хроматографии HScII получен состав нейтральных моносахаридов. Он представлен фракциями: HScII-1u-1d, HScII-1u-2d, HScII-1u-3d и HScII-1u-4d.

Фракция HScII-1u-4d, элюируемая из колонки 0,3 М раствором NaCl с выходом 47,1%, содержит 70,5% остатков D-галактуронової кислоты, незначительное количество остатков L-рамнозы (0,3%), а также L-арабинозы, D-галактозы, D-ксилозы и D-глюкозы. Это указывает на то, что она представлена линейным гомогалактуронатом (рамногалактуронатом) и рамногалактуронатом-I [16].

В результате частичного кислотного гидролиза HScII-1u 0,05 М раствором ТФУ (100 °С, 8 ч) была получена минорная фракция HScII-1u-1h (нерастворимый в ТФУ остаток после гидролиза), а также главная фракция HScII-1u-2h и фракция HScII-1u-3h (последовательной обработкой гидролизата 4-х и 10-ти кратными объемами 96%-ного этилового спирта соответственно). Состав фракций приведён в таблице 4.

Состав фракции HScII-1u-1h свидетельствует о том, что она представлена гомогалактуронатом, содержащим минорные количества остатков D-галактозы и D-глюкозы. Их наличие указывает на то, что они участвуют в присоединении боковых углеводных цепей

рамногалактуронана-I к кору молекулы пектиновых полисахаридов HScII-1u каллуса борщевика.

Состав продуктов исчерпывающего ферментативного гидролиза HScII-1u эндополигалактуроназой *Rhizopus* sp. приведён в таблице 5.

Среди продуктов ферментативного гидролиза в виде ТМС-производных идентифицированы остатки D-галактуроновой кислоты, что свидетельствует о присутствии в углеводных цепях полисахаридов участков α -1,4-D-галактуронана, а существенное снижение остатков D-галактуроновой кислоты в HScII-1u-f по сравнению с HScII-1u говорит о том, что они достаточно протяжённые.

Результаты метилирования пектиновых полисахаридов HScII-1u-f, полученных в ходе ферментативного гидролиза, по Хакамори указывают на то, что в состав их углеводных цепей входят 1,5-связанные остатки L-арабинофуранозы, 1,6- и 1,3,6-связанные остатки D-галактопиранозы, 1,4-связанные остатки D-глюкопиранозы, 1,4-связанные остатки D-ксилопиранозы, 1,3,6-связанные остатки D-маннопиранозы, а также 1-связанные D-глюкопиранозы и D-ксилопиранозы. Полученные данные свидетельствуют о широком спектре углеводного состава каллусной ткани стебля борщевика Сосновского, что может быть использовано в биотехнологической промышленности при получении различной продукции.

Таблица 3 / Table 3

Состав фракций пектиновых полисахаридов HScII-u1, полученных при ионообменной хроматографии / Composition of the pectin polysaccharides' fractions HS-II-u1 obtained by ion-exchange chromatography

Фракция Fraction	Выход Yield, %*	MeO, %	Содержание / Content, %							
			GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	белок protein
HScII-1u-1d (0,01 M NaCl)	1,0	2,9	48,3	10,6	5,6	0,6	0,3	0,3	0,5	9,8
HScII-1u-2d (0,1 M NaCl)	12,9	0,9	41,6	7,0	6,8	0,5	Сл. Tr.	0,2	0,1	7,6
HScII-1u-3d (0,2 M NaCl)	4,9	4,5	62,8	4,1	2,5	0,5	0,1	Сл. Tr.	1,1	3,7
HScII-1u-4d (0,3 M NaCl)	47,1	2,4	70,5	2,9	1,9	0,6	0,3	Сл. Tr.	0,3	1,7

Примечание: Сл. – следовые количества.

Note: Tr. – trace quantities.

Таблица 4 / Table 4

Состав продуктов пектиновых полисахаридов после частичного кислотного гидролиза / The composition of the of pectin polysaccharides' products after partial acid hydrolysis

Фракция Fraction	Выход Yield, %*	MeO, %	Содержание / Content, %							
			GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	белок protein
HScII-1u-1h	1,0	Н.о. N.d.	86,9	–	0,9	Сл. Tr.	–	–	0,2	7,9
HScII-1u-2h	10,0	0,5	76,5	–	1,0	Сл. Tr.	–	–	0,5	10,4
HScII-1u-3h	4,6	0,3	55,2	0,6	1,8	0,2	2,9	0,1	2,6	15,6

Примечание: Н.о. – не определялось, Сл. – следовые количества.

Note: N.d. – not been determined, Tr. – trace quantities.

Таблица 5 / Table 5

Состав фракции пектиновых полисахаридов после ферментализации / Composition of pectin polysaccharides' fraction after fermentolysis

Фракция Fraction	Выход Yield, %*	MeO, %	Содержание / Content, %							
			GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	белок protein
HScII-1u-f	73,1	3,6	57,9	8,6	6,0	1,0	2,1	0,4	1,6	6,4

Выводы

1. Из каллусной ткани стебля борщевика Сосновского с суммарным выходом 8,8% выделены фракции водорастворимых полисахаридов HScI и пектиновых полисахаридов HScII.

2. Полученные данные указывают на то, что водорастворимые полисахариды HScI каллуса представлены арабинанами, галактанами (арабиногалактанами).

3. Показано, что высокомолекулярные пектиновые полисахариды протопектинового комплекса клеточных стенок каллусной ткани стебля борщевика отличаются высоким содержанием остатков D-галактуроновой кислоты и низким содержанием остатков L-рамнозы, т. е. содержат протяжённые участки линейного гомогалактуронана/рамногалактуронана и разветвлённые области, представленные рамногалактуронаном-I.

4. С помощью метода метилирования показано, что боковые углеводные цепи рамногалактуронана-I образованы 1,5-связанными остатками L-арабинофуранозы, 1,6- и 1,3,6-связанными остатками D-галактопиранозы, 1,4-связанными остатками D-глюкопиранозы, 1,4-связанными остатками D-ксилопиранозы, 1,3,6-связанными остатками D-маннопиранозы и терминальными остатками D-глюкопиранозы и D-ксилопиранозы.

References

1. Shakhmatov E.G., Mikhailova E.A., Makarova E.N. Structural-chemical characteristics and biological activity of polysaccharides of *Heracleum sosnowskyi* Manden. // *Khimiya rastitelnogo syrya*. 2015. No. 4. P. 15–22 (in Russian).

2. Shakhmatov E.G., Atukmaev K.V., Makarova E.N. Structural characteristics of pectic polysaccharides and arabinogalactan proteins from *Heracleum sosnowskyi* Manden. // *Carbohydr. Polym.* 2016. V. 136. P. 1358–1369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.041>.

3. Senejoux F., Demougeot C., Cuciureanu M., Miron A., Cuciureanu R., Berthelot A., Girard-Thernier C. Vaso-relaxant effects and mechanisms of action of *Heracleum sphondylium* L. (Apiaceae) in rat thoracic aorta // *J. Ethnopharmacol.* 2013. V. 147. P. 536–539. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.03.030>.

4. Ridley B.L., O'Neill M.A., Mohnen D. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related

signaling // *Phytochemistry*. 2001. V. 57. P. 929–967. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.03.030>.

5. Popov S.V., Gunter E.A., Markov P.A., Smirnov V.V., Khranova D.S., Ovodov Yu.S. Adjuvant effect of lemnna, pectic polysaccharide of callus culture of *Lemna minor* L. at oral administration // *Immunopharmacol. Immunotoxicol.* 2006. V. 28. P. 141–152. doi: <https://doi.org/10.1080/8923970600626098>.

6. Thompson J.E., Fry S.C. Evidence for covalent linkage between xyloglucan and acidic pectins in suspension-cultured *Rose* cells // *Planta*. 2000. V. 211. P. 275–286.

7. Goubet F., Morvan C. Synthesis of cell wall galactans from flax (*Linum usitatissimum* L.) suspension-cultured cell // *Plant Cell Physiol.* 1994. V. 35. No. 5. P. 719–727. doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078649>.

8. Usov A.T., Bilan M.I., Klochkova N.G. Polysaccharides of algae. Polysaccharide composition of several calcareous red algae: isolation of alginate from *Corallina pilulifera* P. et R. (Rhodophyta, Corallinaceae) // *Bot. marina*. 1995. V. 38. P. 43–51. doi: <https://doi.org/10.1515/botm.1995.38.1-6.43>.

9. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Pholin phenol reagent // *J. Biol. Chem.* 1951. V. 193. P. 265–275.

10. Wood P.J., Siddiqui I.R. Determination of methanol and its application to measurement of pectin ester content and pectin methyl esterase activity // *Analyt. Biochem.* 1971. V. 39. P. 418–428. doi: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90432-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90432-5).

11. York W.S., Darvil A.G., McNeil M., Stevenson T.T. Isolation and characterization of plant cell walls and cell-wall components // *Meth. Enzymol.* 1986. V. 118. P. 3–40. doi: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(86\)18062-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(86)18062-1).

12. Hakomori S. A rapid per methylation of glycolipid and polysaccharide catalyzed by methyl sulfoxide // *J. Biochem.* 1964. V. 55. No. 2. P. 205–208.

13. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // *Analyt. Chem.* 1956. V. 28. P. 350–356.

14. GOST R 54905-2012. Enzyme preparations. Methods for the determination of the enzymatic activity of “beta”-glucanase (in Russian).

15. Ovodova R.G., Bushneva O.A., Golovchenko V.V., Popov S.V., Ovodov Yu.S. The method of obtaining polysaccharides with immunostimulating action from plant raw materials // RF Patent No. 2149642. Application: 08.09.1999. Date of publication: 27.05.2000. Bull. No. 15 (in Russian).

16. Ovodov Yu.S. Modern concepts of pectin substances // *Bioorganicheskaya khimiya*. 2009. V. 5. No. 3. P. 293–310 (in Russian).

Морфогенетическая структура популяций озёрной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Amphibia, Anura) в условиях городской среды

© 2019. Э. А. Снегин, д. б. н., директор центра геномной селекции,
А. С. Бархатов, аспирант,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85,
e-mail: snegin@bsu.edu.ru, barkhatov@bsu.edu.ru

На основе морфометрических, фенетических и молекулярно-генетических методов изучена популяционная структура озёрной лягушки (*Pelophylax ridibundus*), обитающей в условиях урбанизированной среды г. Белгорода и его окрестностей (Россия). Полученные результаты подтвердили ранее высказанные предположения, согласно которым в условиях антропогенной нагрузки доминирует цветовая морфа «striata» (доля особей на импактных территориях составила от 70 до 93%). В относительно чистых биотопах преобладала морфа «maculata» (58–67%). По морфометрическим признакам был выявлен высокий уровень дифференциации популяций. По большинству морфометрических индексов дисперсионный анализ показал достоверные различия между группами ($p < 0,05$), что, вероятно, является следствием неоднородности городской среды, особенно по степени загрязнения и кормообеспеченности. При этом индекс генетической дифференциации F_{st} по аллозимным локусам составил в среднем 0,264, а уровень потока генов между популяциями (Nm) колебался от 0,107 до 32 особей за поколение. Это свидетельствует о явной панмиксии среди популяций *P. ridibundus* в районе исследования. В ряде случаев отмечены неспецифические аллозимные локусы, указывающие на гибридное происхождение особей (гибриды между *P. ridibundus* и *P. lessonae*). Высокие показатели генетического разнообразия ($H_e = 0,394 \pm 0,061$, $I = 0,629 \pm 0,100$) и низкие значения инбридинга в популяциях ($I_F = -0,112 \pm 0,075$) свидетельствуют о повышенной жизнеспособности исследуемых групп амфибий в районе исследования, что является следствием адаптаций популяций *P. ridibundus* к обитанию в городских условиях.

Ключевые слова: озёрная лягушка, популяция, урбанизированная среда.

Morphogenetic structure of marsh frog populations of *Pelophylax ridibundus* (Amphibia, Anura) under conditions of urban environment

© 2019. E. A. Snegin ORCID: 0000-0002-7574-6910
A. S. Barkhatov ORCID: 0000-0001-9996-7251,
Belgorod National Research University,
85, Pobedy St., Belgorod, Russia, 308015,
e-mail: snegin@bsu.edu.ru, barkhatov@bsu.edu.ru

On the basis of morphometric, phenetic and molecular genetic methods, the population structure of the *Pelophylax ridibundus* inhabiting the urbanized environment of Belgorod and its environs (Russia) was studied. The obtained results confirmed the previously stated assumptions, according to which under the conditions of anthropogenic load the color morph “striata” dominates (the proportion of individuals on impact territories was 70 to 93%). In relatively pure biotopes, the color morph “maculate” prevailed (58–67%). The morphometric characteristics revealed a significant differentiation of populations, caused by heterogeneity in the urban environment. For most morphometric indices, ANOVA showed significant differences between groups ($p < 0.05$), which is probably a consequence of the heterogeneity of the urban environment, especially in terms of contamination and food supply. But the index of genetic differentiation (F_{st}) at allozyme loci averaged 0.264, and the level of gene flow between populations (Nm) ranged from 0.107 to 32 individuals per generation. This indicates an obvious panmixia among the populations of *P. ridibundus* in the study area. Occasionally nonspecific allozyme loci were noted, indicating the hybrid origin of the individuals (hybrids between *P. ridibundus* and *P. lessonae*). The high of genetic diversity indices ($H_e = 0.394 \pm 0.061$, $I = 0.629 \pm 0.100$) and the low inbreeding values in populations ($I_F = -0.112 \pm 0.075$) indicate an increased viability of the amphibian groups studied in the study area, which is a consequence of the adaptations of populations of *P. ridibundus* to inhabitation in urban conditions.

Keywords: marsh frog, population, urban environment.

Известно, что антропогенное влияние на окружающую среду вызывает самые разнообразные реакции у животных. При этом наиболее сильно от воздействия человека страдают представители гидросферы, как наиболее мобильной части биосферы. Сельскохозяйственные и бытовые стоки, а также отходы промышленных производств, поступающих в водоёмы, приводят к глубоким изменениям условий обитания отдельных животных и биоты в целом.

Земноводные являются важным компонентом экосистем. Они являются ключевыми звеньями пищевых цепей, регулируют численность насекомых и других беспозвоночных, а также являются промежуточными хозяевами различных паразитов. Кроме того, амфибии очень чувствительны к изменениям факторов среды, что делает их удобными биоиндикаторами [1–4].

Для более объективной оценки ответной реакции популяции на изменения в окружающей среде (ОС), рекомендуется использование комплекса признаков, который включает в себя экологические и морфогенетические показатели, чувствительные к изменению ОС.

Цель данной работы заключалась в анализе морфогенетической структуры популяции озёрной лягушки (*Pelophylax ridibundus* Pallas, 1771) для оценки её уровня жизнеспособности в условиях урбанизированного ландшафта г. Белгорода и его окрестностей.

Материалы и методы исследования

Сбор животных проводили в летний полевой сезон 2016 г. Всего было исследовано 78 особей из 6 пунктов (рис. 1). Пункты отличались по градиенту антропогенного пресса, в частности по степени загрязнения воды органическими отходами: 1) «Северский Донец», центральный пляж города Белгорода, р. Северский Донец, наблюдается сильное загрязнение воды бытовыми отходами (50°35'34,5"N, 36°36'35,6"E); 2) «Разумная-1», Белгородский район, пос. Разумное, р. Разумная, местность болотистая, местами отмечаются элементы органического загрязнения стоками, расположенного вблизи свинокомплекса (50°32'48,8"N, 36°41'26,6"E); 3) «Разумная-2» – Белгородский район, р. Разумная, сильное загрязнение воды твёрдыми бытовыми отходами. Вода имеет характерный неприятный запах (50°31'48,0"N, 36°38'59,5"E); 4) «Севрюково», Белгородский район, окрестность с. Севрюково, р. Разумная, чистый биотоп, те-

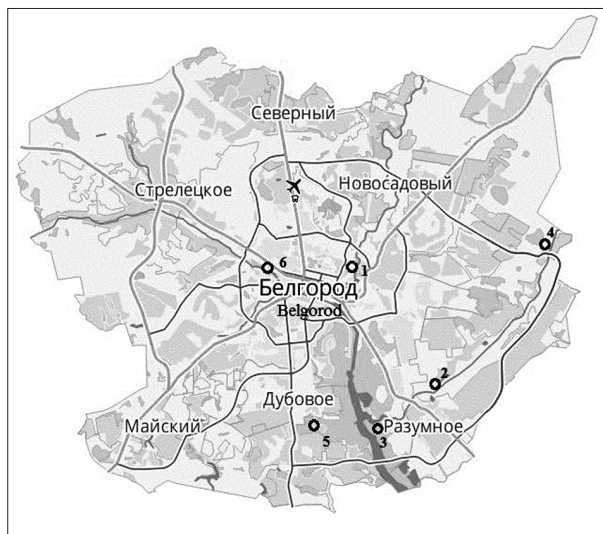


Рис. 1. Пункты сбора *Pelophylax ridibundus* (описание даётся в таблице 1)
 Fig. 1. Points of collection of *Pelophylax ridibundus* (the description is given in Table 1)

чение быстрое, вода прозрачная (50°36'55,3"N, 36°46'24,9"E); 5) «Дубовое», Белгородский район, пос. Дубовое, лесопарковая зона отдыха, чистый биотоп, на территории расположена церковная купель с прозрачной родниковой водой (50°32'00,3"N, 36°34'59,8"E); 6) «Везёлка», г. Белгород, р. Везёлка, течение среднее, вода сильно загрязнена, на месте сбора были встречены трупы рыб и уток (50°35'52,8"N, 36°33'37,1"E).

Для оценки окраски и рисунка тела животных фотографировали. У озёрной лягушки известны две цветовой морфы «striata» с дорсомедиальной полосой и «maculata» – без полосы (рис. 2).

Далее осуществляли морфометрический анализ, где каждое животное измеряли по общепринятой для бесхвостых земноводных схеме [5]: L. – расстояние от кончика морды до центра клоакального отверстия, Lt. с. – максимальная ширина головы у основания нижних челюстей, F. – длина бедра от клоакального отверстия до наружного края сочленения, T. – длина голени, D. p. – длина первого пальца задней ноги от дистального основания внутреннего пяточного бугра до конца пальца, C. int. – наибольшая длина внутреннего пяточного бугра в его основании. Кроме того, у животного определяли вес тела (m_b) и внутренних органов: сердца (m_c), почек (m_n) печени (m_l). Далее вычисляли отношения этих показателей (индексы), которые являются хорошими морфофизиологическими индикаторами, позволяющими судить о состоянии как

Результаты и обсуждение

отдельно взятых организмов, так и популяции в целом [6].

Анализ генетической структуры популяций проводили с использованием локусов неспецифических эстераз. Ферменты экстрагировали из мышечной ткани путём заморозки и механическим измельчением тefлоновым гомогенизатором в 40% растворе сахарозы.

Электрофорез осуществляли в камере VE-20 (Helicon, Россия) в вертикальных пластинках 10% полиакриламидного геля (ПААГ) [7]. В качестве электродного буфера использовали трис-глициновый буфер (рН 8,3).

Продолжительность электрофореза составляла 3–4 ч при напряжении 200 В и температуре +4 °С. Для окрашивания на неспецифические эстеразы гель выдерживали в растворе борной кислоты в течение 15 мин, затем в растворе 0,1 М буфера Tris-HCl рН 7,8 с добавлением α-нафтилацетата и красителя прочного красного (Fast Red TR). Полученные результаты обрабатывали стандартными методами вариационной статистики [8], при этом рассчитывали среднюю арифметическую величину метрических показателей (M) и её ошибку (m), осуществляли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и кластерный анализ выборок. Статистическую обработку проводили при помощи программ MS Excel, и Staistica 6.0. Для анализа генетических данных использовали программу GenAlEx [9].

У *P. ridibundus* нами были диагностированы два локуса неспецифических эстераз *EST1* и *EST2* с тремя аллелями каждый, наследуемых по кодоминантному типу (рис. 3). Границы локусов определяли путём сопоставления эмпирических частот полученных комбинаций с теоретически ожидаемыми частотами, рассчитанными по закону Харди-Вайнберга.

При этом у ряда особей были выявлены лёгкие фракции эстераз, отсутствующие у большинства изученных лягушек. Примечательно, что по некоторым таксономическим признакам этих особей нельзя было отнести не к *P. ridibundus*, не к родственному виду *Pelophylax lessonae* Camerano, 1882 (прудовая лягушка), также обитающего в районе исследования. Вероятно, данные особи являются межвидовыми гибридами, которые традиционно присутствуют в местах контакта популяций этих двух видов. В анализе их не учитывали. Возможно, что по наличию указанных лёгких фракций эстераз в будущем можно будет диагностировать случаи гибридизации между указанными видами.

На первом этапе исследований нами был осуществлён анализ частот встречаемости в популяциях озёрной лягушки цветочных вариантов, обозначаемых как морфа «striata» и «maculata»: 1) N = 15, «striata»/ «maculata» типе 86,6%/13,4%; 2) N = 15, 80%/20%; 3) N = 14, 92,8%/7,2%; 4) N = 12, 41,6%/58,4%; 5) N = 5, 33,3%/66,7%; 6) N = 10; 70%/30%.

Наибольшее число особей, имеющих дорсомедиальную полосу и обозначаемых как морфа «striata», отмечено в пунктах «Разумная-2», «Северский Донец» и «Разумная-1». Из литературных источников известно, что морфа «striata» доминирует в популяциях озёрной лягушки, обитающих в более загрязнённых биотопах урбанизированных территорий [10, 11], к категории которых, вероятно, относятся указанные пункты. Максимальное количество особей, у которых дорсомедиальная полоса отсутствует (морфа «maculata») отмечено в более чистых районах «Севрюково» и «Дубовое».

Результаты морфометрического анализа приведены в таблице 1. Ввиду того, что для морфометрического анализа использовались половозрелые, но разновозрастные особи, мы сочли необходимым провести сравнение популяций не по абсолютным показателям, а по вычисленным индексам тела. Результаты однофакторного дисперсионного анализа выявили достоверное отличие изученных популяций по следующим пропорциям (табл. 2): L./Lt.c., L./F., L./T., L./D.p., L./C.int., F./T, что свидетельствует о морфологической дифференциации изученных популяций по указанным признакам, вызванной, вероятно, неоднородностью городской среды.

Известно, что достоверные отличия по индексам внутренних органов, по которым можно оценить физиологическое состояние организма земноводных, позволяют косвенно судить о степени загрязнённости биотопов и кормообеспеченности [6]. Так, по индексу печени (m_l/m_b) выделяется группа «Северский Донец», что свидетельствует о её хорошей кормовой базе, так как запасные питательные вещества депонируются у лягушек в этом органе. По индексу сердца (m_c/m_b) наименьшие показатели отмечены в пункте «Везёлка», что говорит о пониженном уровне метаболизма в данной группе. По индексу почек (m_n/m_b), который также свидетельствует об уровне метаболизма, достоверных отличий между группами не отмечено.

Таблица 1 / Table 1

Индексы метрических показателей и внутренних органов *P. ridibundus* (M±m)*
Indices of metric indices and internal organs *P. ridibundus* (M ± m)*

Признак/ Sign	Пункты / Points					
	«Северский Донец» “Seversky Donets”	«Разумная-1» “Razumnaya-1”	«Разумная-2» “Razumnaya-2”	«Дубовое» “Dubovoe”	«Севрюково» “Sevryukovo”	«Везёлка» “Vezelka”
L./Lt.c.	2,87±0,23	3,25±0,63	3,17±0,41	3,11±0,2	2,99±0,26	2,52±0,66
L./F.	2,1±0,36	2,23±0,22	2,32±0,28	2,24±0,21	2,23±0,17	1,86±0,61
L./T.	2,01±0,34	2,07±0,28	1,91±0,21	2,02±0,18	1,89±0,13	1,67±0,46
L./D.p.	7,34±2,05	7,85±1,79	8,06±1,51	8,45±1,69	7,25±1,27	5,95±1,69
L./C.int.	21,47±3,14	21,61±3,32	20,89±3,31	21,64±2,93	20,04±2,8	21,12±3,10
F./T.	0,96±0,14	0,94±0,15	0,83±0,06	0,91±0,05	0,85±0,06	0,92±0,11
T./C.int	10,97±2,33	10,59±2,11	11,03±2,04	10,71±1,43	10,65±2,0	10,80±1,98
D.p./C.int	3,12±0,94	2,88±0,79	2,65±0,52	2,65±0,6	2,87±0,79	2,81±0,71
m _l /m _b	0,040±0,002	0,025±3·10 ⁻⁴	0,021±3·10 ⁻⁴	0,022±0,003	0,023±0,004	0,017±0,001
m _c /m _b	0,004±2·10 ⁻⁴	0,004±3·10 ⁻⁴	0,004±3·10 ⁻⁴	0,004±2·10 ⁻⁴	0,004±3·10 ⁻⁴	0,003±2·10 ⁻⁴
m _n /m _b	0,004±3·10 ⁻⁴	0,004±4·10 ⁻⁴	0,004±6·10 ⁻⁴	0,003±2·10 ⁻⁴	0,003±2·10 ⁻⁴	0,004±3·10 ⁻⁴

Примечание: M – среднее значение, m – стандартная ошибка среднего.
Note: M is the average value; m is the standard error of the average.

Таблица 2 / Table 2

Результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA)
морфометрических индексов *P. ridibundus* / The results of a single-factor analysis
of variance (ANOVA) of morphometric indices of *P. ridibundus*

Индекс / Index	L./ Lt.c.*	L./ F.*	L./ T.*	L./ D.p.*	L./ C.int.	F./ T.*	T./ C.int	D.p./ C.int	m _l /m _b *	m _c /m _b *	m _n /m _b
F	4,21	2,68	2,84	2,87	0,59	3,08	0,13	0,92	5,92	18,9	0,35
P	0,002	0,028	0,021	0,02	0,67	0,014	0,97	0,45	0,0001	6,65×10 ⁻¹²	0,88

Примечание: F – фактические значения критерия Фишера, P – вероятность критерия Фишера, * p < 0,05.
Note: F is the value of the Fisher criterion, P is the probability of the Fisher test, * p < 0.05.

Полученные данные по локусам эстроз демонстрируют повышенное генетическое разнообразие в популяциях озёрной лягушки, обитающих в относительно чистых биотопах (пункты «Дубовое» и «Севрюково») (табл. 3, 4). В остальных группах отмечается тенден-

ция к снижению аллельного разнообразия и переход ряда локусов в мономорфное (гомозиготное) состояние (например, пункты 1 и 2). А это, в свою очередь, может снизить жизнеспособность этих групп, так как определённый уровень генетической изменчивости, будучи

Таблица 3 / Table 3

Частоты аллелей в популяциях *P. ridibundus* / The frequencies of alleles in populations of *P. ridibundus*

Номер пункта / Number of point	1		2		3		4		5		6		
	EST1	EST2	EST1	EST2	EST1	EST2	EST1	EST2	EST1	EST2	EST1	EST2	
Аллели Allele	1	0,429	1	0,133	0	0,214	0,143	0,25	0,417	0,083	0,542	0,25	0,5
	2	0,571	0	0,767	1	0,607	0,857	0,542	0,542	0,667	0,375	0,75	0,5
	3	0	0	0,1	0	0,179	0	0,208	0,042	0,25	0,083	0	0

Таблица 4 / Table 4

Показатели генетического разнообразия популяций *P. ridibundus*
Indicators of the genetic diversity of populations of *P. ridibundus*

Пункты / Point	<i>N</i>	<i>N_a</i>	<i>N_e</i>	<i>I</i>	<i>H_o</i>	<i>H_e</i>	<i>I_F</i>
1. «Северский Донец» / “Seversky Donets”	14	1,5	1,480	0,341	0,286	0,245	-0,167
2. «Разумная-1» / “Razumnaya-1”	15	2,0	1,312	0,351	0,167	0,192	0,133
3. «Разумная-2» / “Razumnaya-2”	14	2,5	1,782	0,675	0,321	0,399	0,094
4. «Севрюково» / “Sevryukovo”	12	3,0	2,319	0,917	0,750	0,566	-0,330
5. «Дубовое» / “Dubovoe”	12	3,0	2,107	0,865	0,625	0,523	-0,207
6. «Везёлка» / “Vezelka”	10	2,0	1,800	0,628	0,550	0,438	-0,200
Среднее / The average		2,33 ±0,25	1,80 ±0,15	0,629 ±0,100	0,450 ±0,092	0,394 ±0,061	-0,112 ±0,075

Примечание: *N* – число особей в выборке; *N_a* – среднее число аллелей; *N_e* – эффективное число аллелей; *I* – индекс Шеннона; *H_o* – наблюдаемая гетерозиготность; *H_e* – ожидаемая гетерозиготность; *I_F* – индекс фиксации (коэффициент инбридинга).

Note: *N* – the number of individuals in the sample; *N_a* – the average number of alleles; *N_e* – the effective number of alleles; *I* – the Shannon index; *H_o* – observed heterozygosity; *H_e* – the expected heterozygosity; *I_F* – fixation index (coefficient of inbreeding).

Таблица 5 / Table 5

Результаты анализа молекулярной дисперсии для популяций *P. ridibundus*
The results of the analysis of molecular dispersion for the populations of *P. ridibundus*

Источник изменчивости / Source of variation	df	SS	MS	Est. Var.	%	<i>F_{st}</i>	<i>F_{is}</i>	<i>F_{it}</i>
Между популяциями / Among Population	5	19,9	3,98	0,142	25	0,264	-0,085	0,202
Между особями / Among Individuals	77	33,0	0,42	0,429	75			
Общая / Total	82	52,9		0,570	100			

Примечание: *F_{it}* – коэффициент инбридинга особи относительно большой популяции ($p = 0,004$), *F_{is}* – коэффициент инбридинга особи относительно субпопуляции ($p = 0,870$), *F_{st}* – коэффициент инбридинга субпопуляции относительно большой популяции ($p = 0,001$).

Note: *F_{it}* – the inbreeding coefficient of a relatively large population ($p = 0.004$), *F_{is}* – the inbreeding coefficient of the individual relative to the subpopulation ($p = 0.870$), *F_{st}* – the inbreeding coefficient of the subpopulation relative to the large population ($p = 0.001$).

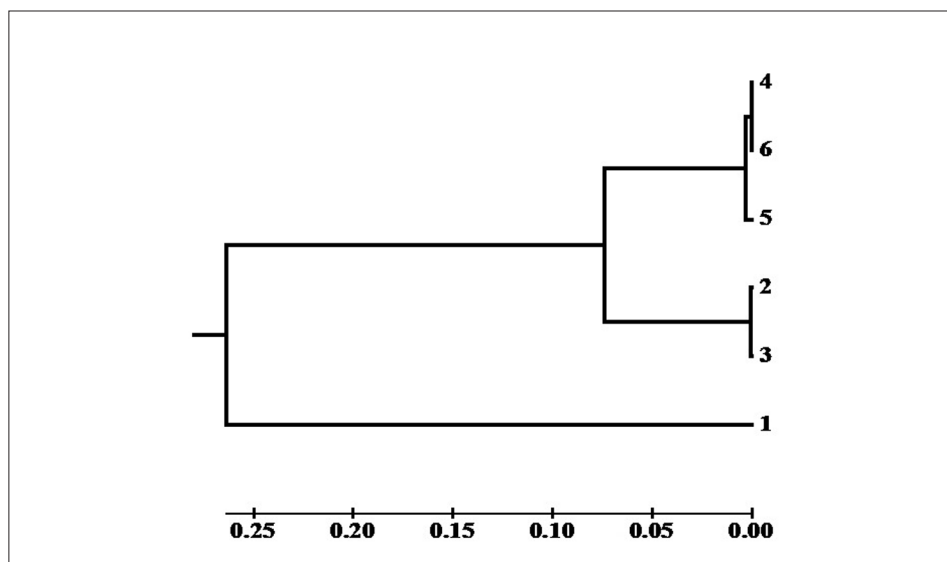


Рис. 4. Дендрограмма генетических расстояний, построенная методом UPGMA, между популяциями *P. ridibundus* по локусам изоферментов

Fig. 4. Dendrogram of genetic distances by Nei, constructed by UPGMA, between populations of *P. ridibundus* at loci of isoenzymes

«мобилизационным резервом», обеспечивает устойчивость популяции как системы [12]. Экспериментально доказано, например, что увеличение гомозиготности в популяциях некоторых видов на 10% приводит к снижению их репродуктивной способности не менее, чем на 25% [13]. Тем не менее, низкие значения коэффициента инбридинга, отмеченные во всех изученных популяциях *P. ridibundus* свидетельствуют о стабильном состоянии их генофондов.

Анализ молекулярной дисперсии (табл. 5) показал, что в изученных группах преобладает внутривидовая генетическая дифференциация над межвидовой. При этом в среднем индекс дифференциации *Fst* составил 0,264, а уровень потока генов между популяциями (*Nm*) колебался от 0,107 до 32 особей за поколение. Согласно «теории эволюции со смещающимся равновесием» [14], для поддержания панмиксии в метапопуляции требуется поток генов 1–2 особи за поколение. Полученные значения *Nm* свидетельствуют о том, что, несмотря на условия урбанизации, способствующей изоляции колоний, большинство исследуемых групп *P. ridibundus* являются, вероятно, членами одной панмиктической популяции. Большую генетическую близость между большинством изучаемых групп лягушек подтвердил кластерный анализ выборок на основе вычисленных генетических дистанций по Ней методом ближайшего связывания (UPGMA) (рис. 4). Только группа «Северский Донец» (№ 1) дистанцировалась от остальных групп.

Заключение

Таким образом, анализ популяционной структуры *P. ridibundus* в районе исследования продемонстрировал определённые тренды морфогенетической составляющей в зависимости от степени загрязнения биотопов и кормообеспеченности. Тем не менее, относительно высокие значения генетической изменчивости, низкие показатели инбридинга и высокая доля панмиксии указывают на сбалансированное состояние генофонда и повышенный уровень жизнеспособности анализируемых групп озёрной лягушки в районе исследования. Данный факт, вероятно, свидетельствует о микроэволюционных процессах, протекающих в популяциях изучаемого вида, направленных на их адаптацию к условиям урбанизированной среды. Вместе с тем, стоит отметить, что продолжающееся загрязнение

водоёмов региона может превысить диапазон толерантности озёрной лягушки, следствием чего может быть сокращение численности или полное исчезновение этого ключевого вида в водных и прибрежных биоценозах.

Литература

1. Krizmanić I.I., Ivanović A.T. Population systems of the *Pelophylax esculentus* complex in the southern part of its range // *Folia Zoologica*. 2010. V. 59. No. 3. P. 215–222.
2. Zhelev Zh.M., Arnaudov A.D., Boyadzhiev P.S. Colour polymorphism, sex ratio and age structure in the populations of *Pelophylax ridibundus* and *Pseudepidalea viridis* (Amphibia: Anura) from anthropogenically polluted biotopes in southern Bulgaria and their usage as bioindicators // *Trakia Journal of Sciences*. 2014. No. 1. P. 1–12.
3. Quilodr C.S., Montoya-Burgos J.I., Currat M. Modelling interspecific hybridization with genome exclusion to identify conservation actions: the case of native and invasive *Pelophylax* waterfrogs // *Evolutionary Applications*. 2015. No. 8. P. 199–210.
4. Леонтьева О.А., Семенов Д.В. Земноводные как биоиндикаторы антропогенных изменений среды // *Успехи современной биологии*. 1997. Т. 117. № 6. С. 726–737.
5. Ноздрачев А.Д., Поляков Е.Л. Анатомия лягушки: практическое пособие для биологических, медицинских с сельскохозяйственных специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1994. 320 с.
6. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных // *Труды Института экологии растений и животных АН СССР*. Вып. 58. Свердловск: 1968. 386 с.
7. Остерман Л.А. Методы исследования белков и нуклеиновых кислот: Электрофорез и ультрацентрифугирование: Практическое пособие. М.: Наука, 1981. 288 с.
8. Плохинский Н.А. Биометрия: Учеб. Пособие. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
9. Peakall R., Smouse P.E., GenAlEx V5: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Australian National University, Canberra, Australia. 2001. [Электронный ресурс] <http://www.anu.edu.au/BoZo/GenAlEx> (Дата обращения: 11.05.2016).
10. Вершинин В.Л. Морфа *striata* у представителей рода *Rana* (Amphibia, Anura) – причины адаптивности к изменениям // *Журнал общей биологии*. 2008. Т. 69. № 1. С. 65–71.
11. Zhelev Zh.M., Arnaudov A.D., Boyadzhiev P.S. Ecological status of the Szazliyka River and its tributaries (Blatnitsa and Sokolitsa) as indicated by the color polymorphism and sexual composition of the populations *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2015. V. 21. No. 6. P. 1148–1156.

12. Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора. М.: Наука, 1968. 451 с.

13. Frankel O.H., Soule M.E. Conservation and Evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 327 p.

14. Wright S. Random drift and shifting balance theory of evolution // Mathematical Topics in Population Genetics. Berlin: Springer Verlag, 1970. P. 1–31.

References

1. Krizmanić I.I., Ivanović A.T. Population systems of the *Pelophylax esculentus* complex in the southern part of its range // Folia Zoologica. 2010. V. 59. No. 3. P. 215–222. <https://doi.org/10.25225/fozo.v59.i3.a7.2010>.

2. Zhelev Zh.M., Arnaudov A.D., Boyadzhiev P.S. Colour polymorphism, sex ratio and age structure in the populations of *Pelophylax ridibundus* and *Pseudepipalea viridis* (Amphibia: Anura) from anthropogenically polluted biotopes in southern Bulgaria and their usage as bioindicators // Trakia Journal of Sciences. 2014. No. 1. P. 1–12.

3. Quilodr C.S., Montoya-Burgos J.I., Currat M. Modelling interspecific hybridization with genome exclusion to identify conservation actions: the case of native and invasive *Pelophylax* waterfrogs // Evolutionary Applications. 2015. No. 8. P. 199–210. doi: 10.1111/eva.12245.

4. Leonteva O.A., Semenov D.V. Amphibians as bioindicators of anthropogenic changes in the environment // Uspekhi sovremennoy biologii. 1997. V. 117. No. 6. P. 726–737 (in Russian).

5. Nozdrachev A.D., Polyakov E.L. Anatomy of the frog: a practical guide for biological, medical and agricultural specialties of universities. Moskva: Vysshaya shkola. 1994. 320 p. (in Russian).

6. Shvarts S.S., Smirnov V.S., Dobrinsky L.N. The method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates // The Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology, USSR Academy of Sciences. Iss. 58. Sverdlovsk: 1968. 386 p. (in Russian).

7. Osterman L.A. Methods of studying proteins and nucleic acids: Electrophoresis and ultracentrifugation: A practical guide. Moskva: Nauka, 1981. 288 p. (in Russian).

8. Plohinsky N.A. Biometrics: Proc. Manual. Moskva: Izdatelstvo MGU, 1970. 367 p. (in Russian).

9. Peakall R., Smouse P.E., GenAlEx V5: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Australian National University, Canberra, Australia. 2001 [Internet resource] <http://www.anu.edu.au/BoZo/GenAlEx> (Accessed: 11.05.2016).

10. Vershinin V.L. Morpha striata in representatives of the genus Rana (Amphibia, Anura) – the reasons for adaptability to environmental changes // Zhurnal obshchey biologii. 2008. V. 69. No. 1. P. 65–71 (in Russian).

11. Zhelev Zh. M., Arnaudov A.D., Boyadzhiev P.S. Ecological status of the Sazliyka River and its tributaries (Blatnitsa and Sokolitsa) as indicated by the color polymorphism and sexual composition of the populations *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2015. V. 21. No. 6. P. 1148–1156.

12. Shmalhausen I.I. Factors of evolution. The theory of stabilizing selection. Moskva: Nauka, 1968. 451 p. (in Russian).

13. Frankel O.H., Soule M.E. Conservation and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 327 p.

14. Wright S. Random drift and shifting balance theory of evolution // Mathematical Topics in Population Genetics. Berlin: Springer Verlag, 1970. P. 1–31.

Э. А. СНЕГИН, А. С. БАРХАТОВ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ
ОЗЁРНОЙ ЛЯГУШКИ *PELOPHYLAX RIDIBUNDUS* (AMPHIBIA, ANURA)
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ, С. 47

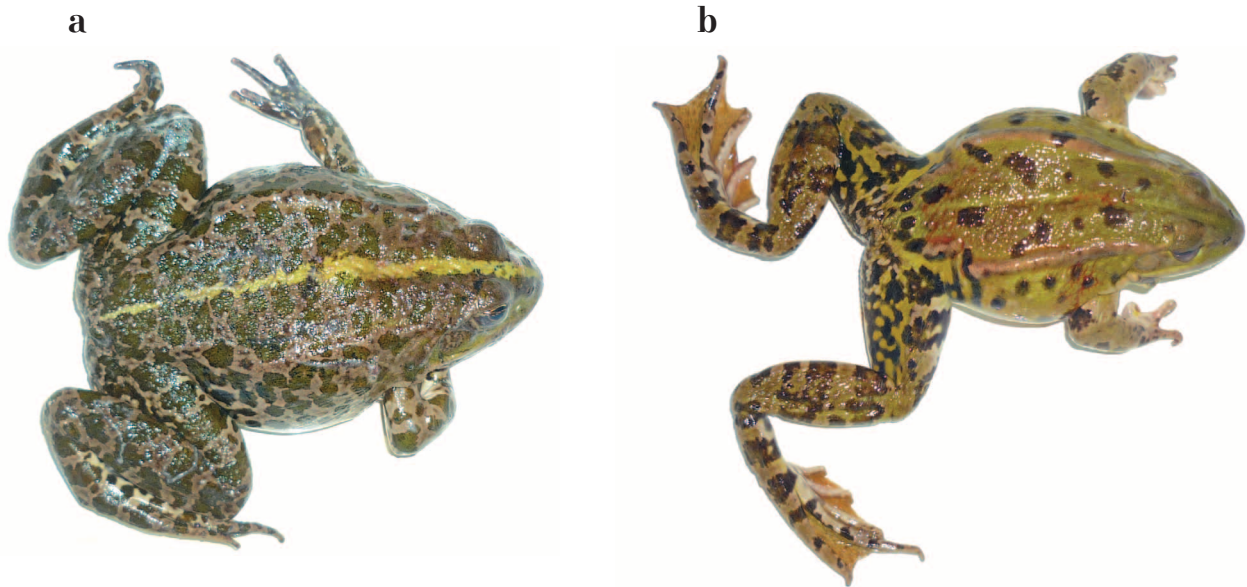


Рис. 2. Морфы *Pelophylax ridibundus*: а – морфа «striata»; б – морфа «maculata»
Fig. 2. Morphs of *Pelophylax ridibundus*: a – morpha “striata”; b – morpha “maculata”

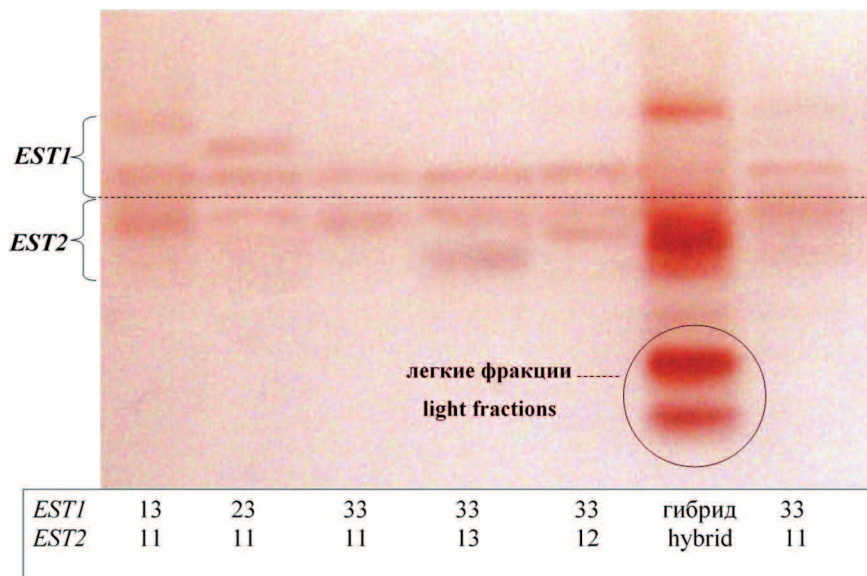


Рис. 3. Фрагмент электрофореграммы неспецифических эстераз
Pelophylax ridibundus с указанием генотипов (описание в тексте)
Fig. 3. Fragment of electrophoregram of nonspecific esterases
Pelophylax ridibundus with the indication of genotypes (description in the text)

Особо охраняемые виды сосудистых растений в охранной зоне нефтепроводов Ярославской области

© 2019. Л. П. Капелькина, д. б. н., гл. н. с.,

Т. Е. Теплякова, к. б. н., с. н. с.,

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук,
197110, Россия, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18,
e-mail: kapelkina@mail.ru, tteplyakova@gmail.com

Эксплуатация трубопроводов для транспортирования нефти неизбежно связана с воздействием на природные биотопы. При маршрутном обследовании техногенно трансформированных биотопов в охранных зонах протяжённостью 30 км выявлено 11 из 173 видов сосудистых растений Красной книги Ярославской области: осока лесная (*Carex sylvatica* Huds.), пальчатокоренник балтийский (*Dactylorhiza baltica* (Klinge) Orlova), пальчатокоренник Фукса (*D. fuchsii* (Druce) Soó), пальчатокоренник мясокрасный (*D. incarnata* (L.) Soó), пальчатокоренник пятнистый (*D. maculata* (L.) Soó), манник литовский (*Glyceria lithuanica* (Gorski) Gorski), тайник яйцевидный (*Listera ovata* (L.) R. Br.), гнездовка обыкновенная (*Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), уховник обыкновенный (*Ophioglossum vulgatum* L.), чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.), любка двулистная (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), причём пальчатокоренник балтийский (*D. baltica*) внесён в Красную книгу Российской Федерации. Приводятся сведения о статусе, категории охраны, местонахождении и численности этих видов. Предложены мероприятия по их сохранению, указана необходимость периодического мониторинга. Отдельные ценопопуляции отличаются малой численностью или встречены в единственном экземпляре. В охранной зоне преобладают растения рода пальчатокоренник (*Dactylorhiza*) вследствие сформировавшихся для их произрастания благоприятных условий, освещения и увлажнения луговых и болотно-луговых биотопов, образующихся при вырубке древесно-кустарникового полога. Состояние большинства ценопопуляций охранных зон удовлетворительное.

Ключевые слова: сосудистые растения, Красная книга, техногенные биотопы, биоразнообразие, охранная зона нефтепроводов.

Red Book of vascular plants along oil pipelines in Yaroslavl Region

© 2019. L. P. Kapelkina ORCID: 0000-0001-6782-6585

T. E. Teplyakova ORCID: 0000-0002-0621-8698

Saint-Petersburg Research Centre of Ecological Safety of Russian Academy of Sciences,
18, Korpusnaya St., St.-Petersburg, Russia, 197110,
e-mail: kapelkina@mail.ru, tteplyakova@gmail.com

Oil-pipe line exploiting is connected inevitably with an influence upon natural biotopes. The route of our investigation of technogenic biotopes passed along 30 km of oil-pipeline protection zone. There were found 11 vascular plant species from 173 of Yaroslavl Region Red Book: *Carex sylvatica* Huds., *Dactylorhiza baltica* (Klinge) Orlova, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, *D. incarnata* (L.) Soó, *D. maculata* (L.) Soó, *Glyceria lithuanica* (Gorski) Gorski, *Listera ovata* (L.) R.Br., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Ophioglossum vulgatum* L., *Veratrum lobelianum* Bernh., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., in addition *Dactylorhiza baltica* also is the species of Russian Federation Red Book. The important information including status of Red Book plant species, category of protection, biotopes and living state is given in the article together with the indispensable protective measures for its preservation and the necessity of periodical plant monitoring. Some Red Book plant populations are scanty or even found in a single number. The most of them are corresponding with satisfactory living states. Species of *Dactylorhiza* are more prevailing in pipeline protection zone than other Red Book plants. This phenomenon is connected with auspicious conditions of lighting and moistening in meadow and marsh-meadow biotopes that are formed after felling trees and shrubs. Within protection zone with Red Book plants felling is expedient in autumnal period after ripening and seeds fall. During reconstruction of oil-pipeline transplantation of Red Book plants is highly recommended to the nearest appropriate biotope not included in the area of reconstructive work, but optimally to the protected areas.

Keywords: vascular plants, Red Book, technogenic biotopes, biodiversity, oil-pipeline safe-zone.

Прокладка нефтепроводов осуществляется повсеместно, затрагивая в отдельных случаях природные участки с видами растений, внесёнными в Красные книги соответствующего региона и Российской Федерации в целом [1, 2]. В системе мер по охране природы сохранение биологического разнообразия является важной задачей не только в нашей стране, но и за рубежом [3–6]. В соответствии с Федеральным законом № 7 «Об охране окружающей среды» в целях сохранения видового разнообразия флоры осуществляются мероприятия по сохранению биоразнообразия, разрабатываются различные методы наблюдения, сохранения, пересадки и реабилитации особо охраняемых видов растений [7–11]. Исследования по изучению редких, уязвимых и исчезающих видов растений проводятся практически во всех регионах России и, прежде всего, на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) [12–14]. В то же время работ по изучению особо охраняемых видов растений, встречающихся на антропогенно трансформированных территориях, сравнительно немного [15, 16]. В этой связи оценка состояния растительности вдоль трассы магистральных трубопроводов является важной составляющей природоохранной деятельности промышленных предприятий, предусмотренной производственным экологическим контролем (ПЭК) и экологическим мониторингом (ПЭМ), что отражено в принятых государственных стандартах: ГОСТ Р 56959-2014 и ГОСТ Р 56062-2014.

Цель работы состояла в обследовании участков охранной зоны магистральных трубопроводов, попадающих в зону предстоящих ремонтных и строительных работ, выявление видов растений, внесённых в Красные книги Ярославской области и Российской Федерации и разработка практических мер по их сохранению.

Объекты и методы

Объектом исследования являлся растительный покров охранных зон нефтепроводов, проходящих по Ярославской области. Общая протяжённость трассы составляет 30 км. Полевое флористическое обследование трасс трубопроводов на разных участках осуществлялось маршрутным методом в последней декаде июня, при этом была составлена краткая характеристика местообитаний, которые сформировались в охранной зоне. Особое внимание уделялось обследованию луговых и болотно-луговых биотопов, потенциально

пригодных для обитания видов, внесённых в Красную книгу Российской Федерации (Красную книгу РФ) [1] и Красную книгу Ярославской области [2, 17]. Латинские названия растений и их авторы приведены в соответствии с последним изданием «Флоры средней полосы европейской части России» [18].

Результаты и их обсуждение

Биотопы в охранной зоне трубопроводов сформированы на участках, преимущественно переувлажнённых. На повышенных участках преобладали песчаные и супесчаные почвы, в понижениях – торфяные низинные и суглинистые почвы, на отдельных участках – глинистые.

На обследуемых участках трассы найден 1 вид сосудистых растений, внесённый в Красную книгу РФ [1] – пальчатокоренник балтийский (*Dactylorhiza baltica*), а в общей сложности обнаружено 11 видов охраняемых растений (табл. 1), внесённых в Красную книгу Ярославской области [2]. Общее количество встреченных нами охраняемых видов растений составляет сотни экземпляров. Преобладающими из них на участках трасс трубопроводов являются представители семейства орхидных, в частности пальчатокоренник Фукса (*D. fuchsii*), который местами образует многочисленные популяции (до 50 цветущих особей) и пальчатокоренник мясокрасный (*D. incarnata*), популяции которого представлены небольшим числом особей (1–3, максимум 5). Большое количество произрастающих на трассе трубопроводов пальчатокоренников обусловлено благоприятными для их произрастания условиями освещения и увлажнения луговых и болотно-луговых биотопов, которые формируются при вырубке деревьев и кустарников. Ряд охраняемых видов найдены нами в 1–3 местообитаниях (табл.): в одном – гнездовка обыкновенная (*Neottia nidus-avis*), в двух – пальчатокоренник балтийский (*D. baltica*) и в трёх – любка двулистная (*Platanthera bifolia*).

За основу статуса видов Красной книги Ярославской области [2] взяты категории, рекомендуемые Красной книгой РФ [1]. Обнаруженные нами в ходе полевых исследований 11 охраняемых видов имеют статус четырёх категорий. Категория 1 – находящиеся под угрозой исчезновения; этот статус имеет на трассе чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum*). Категория 2 – сокращающиеся в численности или уязвимые; этот статус имеют ужовник обыкновенный (*Ophioglossum vulgatum*), любка

Охраняемые сосудистые растения, найденные в охранный зоне нефтепроводов в Ярославской области во второй половине июня 2017 г.
 Red Book vascular plants at Yaroslavl Region (second half of June, 2017)

№	Название вида Name of species	Район District	Количество мест произрастания Number of habitats	Общее количество экземпляров Total number of plant specimen	Общая площадь популяций в квадратных метрах Total area of plant populations (square metre)
1	<i>Neotia nidus-avis</i> (L.) Rich.	Большесельский / Bolsheselsky	1	1	до 1 / under 1
2	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	Угличский / Uglichsky	3	6	до 3 / under 3
3	<i>Glyceria lithuanica</i> (Gorski) Gorski	Гаврило-Ямский / Gavrilov-Yamsky	1	1	2
4	<i>Carex sylvatica</i> Huds.	Большесельский / Bolsheselsky	1	10	2
5	<i>Dactylorhiza baltica</i> (Klinge) Orlova	Большесельский / Bolsheselsky	2	4	до 2 / under 2
6	<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó	Угличский / Uglichsky	6	15	до 7 / under 7
7	<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó	Большесельский / Bolsheselsky	3	8	до 13 / under 13
8	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soó	Гаврило-Ямский / Gavrilov-Yamsky	1	2	до 1 / under 1
9	<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.	Угличский / Uglichsky	3	9	до 3 / under 3
10	<i>Ophioglossum vulgatum</i> L.	Большесельский / Bolsheselsky	1	3	2
11	<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	Угличский / Uglichsky	2	7	до 7 / under 7
		Большесельский / Bolsheselsky	9	173	до 76 / under 76
		Угличский / Uglichsky	4	53	до 48 / under 48
		Большесельский / Bolsheselsky	1	2	до 1 / under 1
		Угличский / Uglichsky	2	50	33
		Угличский / Uglichsky	1	2	до 1 / under 1

двулистная (*Platanthera bifolia*) и осока лесная (*Carex sylvatica*). Категория 3 – редкие; этот статус имеют виды: манник литовский (*Glyceria lithuanica*), пальчатокоренник мясокрасный (*Dactylorhiza incarnata*), пальчатокоренник пятнистый (*D. maculata*), пальчатокоренник Фукса (*D. fuchsii*) и тайник яйцевидный (*Listera ovata*). Категория 4 – малоизученные или неопределённые по статусу; этот статус имеют найденные нами гнездовка обыкновенная (*Neottia nidus-avis*) и пальчатокоренник балтийский (*D. baltica*).

Согласно Красной книге Ярославской области для охраняемых видов растений установлены ранги охраны в регионе. Ранг государственный – для видов, включённых в Красную книгу РФ. Из найденных нами видов этот ранг охраны имеет пальчатокоренник балтийский (*D. baltica*). Ранг международный – для видов, рекомендованных для охраны в документах Международных конвенций [4, 19, 20]. Международный ранг охраны появился после опубликования этих документов: в 2015 г., он применён в Красной книге Ярославской области, в то время как в Красной книге РФ, изданной ранее, он отсутствует. Из найденных нами охраняемых видов международный ранг охраны имеют все орхидеи – виды семейства орхидные (*Orchidaceae* Juss.), в их числе гнездовка обыкновенная (*Neottia nidus-avis*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), пальчатокоренник балтийский (*D. baltica*), пальчатокоренник мясокрасный (*D. incarnata*), пальчатокоренник пятнистый (*D. maculata*), и пальчатокоренник Фукса (*D. fuchsii*), тайник яйцевидный (*Listera ovata*). Ранг региональный (местный) – для видов, включённых только в Красную книгу Ярославской области – имеют уховник обыкновенный (*OphioGLOSSUM vulgatum*), манник литовский (*Glyceria lithuanica*), осока лесная (*Carex sylvatica*) и чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum*).

Проведённые обследования показали, что осуществление работ по вырубке древесно-кустарниковой растительности в охранных зонах трубопроводов оказывает слабое влияние на найденные охраняемые виды сосудистых растений. Тем не менее, на участках трасс, на которых зафиксированы охраняемые виды растений, вырубку древесно-кустарниковой растительности целесообразно проводить в осенний период, предоставив возможность для созревания и осыпания семян.

При возможном полном уничтожении биотопов при проведении необходимых для обслуживания трубопроводов работ следует

предварительно организовать пересадку охраняемых видов в ближайшие подходящие местообитания, оптимально – на ООПТ или ближайшие участки со сходными биотопами, не попадающие в зону предстоящих работ. Кроме того, растения, имеющие статус охраны 1 и 2: чемерицу Лобеля, уховник обыкновенный и любку двулистную, а также пальчатокоренник балтийский, имеющий государственный ранг охраны, целесообразно передать в коллекцию ООПТ (заказника, природного парка или заповедника) для посадки на участки со сходными местообитаниями.

При проведении работ по очистке охранных зон трубопроводов от произрастающей древесно-кустарниковой растительности необходимо обозначить границы мест произрастания найденных популяций пальчатокоренника балтийского с помощью установки ограждения (столбиков) с использованием сигнальной ленты или сигнальной пластиковой сетки по периметру. Для подтверждения успешного самовозобновления охраняемых видов необходимо проведение повторного ботанического обследования.

Заключение

На обследованных участках охранный зоны нефтепроводов обнаружен 1 вид – пальчатокоренник балтийский (*Dactylorhiza baltica*) – из числа охраняемых растений, внесённых в Красную книгу РФ, однако в Ярославской области этот вид имеет 4-й статус – как малоизученный или с неопределённым статусом.

В общей сложности на обследованных участках охранный зоны трубопроводов отмечено 11 видов охраняемых растений, внесённых в Красную книгу Ярославской области.

Проведение опережающего обследования трасс нефтепроводов на участках предстоящих работ по ремонту и реконструкции нефтепроводов является важной составляющей производственного экологического контроля и направлено на сохранение видов растений, внесённых в Красные книги.

Литература

1. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
2. Красная книга Ярославской области. Ярославль: Академия 76, 2015. 472 с.
3. Grulich V. Červený seznam cévnatých rostlin České republiky: třetí vydání. Preslia. 2012. V. 84. P. 631–645.

4. Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. European Red List of vascular plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 130 p.

5. Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych. Kraków: Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk, 2016. 44 p.

6. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki: Ministry of the environment, finnish environment institute, botanical museum, finnish museum of natural history, 1998. 351 p.

7. Вахрамеева М.Г., Варлыгина Т.И., Татаренко И.В. Орхидные России: биология, экология и охрана. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 437 с.

8. Капелькина Л.П., Теплякова Т.Е. Пересадка и реабилитация краснокнижных видов растений как метод их сохранения в условиях техногенеза // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. Севастополь: Изд-во Севастопольского государственного университета, 2017. С. 580–583.

9. Chauhan R.S. Biotechnological approaches for conservation of rare, endangered and threatened plants // International Journal of Scientific and Research Publications. 2016. V. 6. P. 10–14.

10. Pathak M.K., Abido M.S. The role of biotechnology in the conservation of biodiversity // Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 2014. V. 2 (4). P. 352–363.

11. Rai M.K. Review: biotechnological strategies for conservation of rare and endangered medicinal plants // Biodiversitas. 2010. No. 11. P. 157–166.

12. Денисова Л.В., Никитина С.В., Заугольникова Л.Б. Программа и методика наблюдения за ценопопуляциями видов растений Красной книги СССР. М.: ВАСХНИЛ, 1986. 34 с.

13. Горохова В.В., Маракаев О.А. Экосистемы болот Ярославской области: состояние и охрана. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 2009. 160 с.

14. Маракаев О.А. Орхидные (Orchidaceae Juss.) на особо охраняемых природных территориях Ярославской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2. С. 136–140.

15. Вечернина Н.А. Сохранение биологического разнообразия редких, исчезающих видов уникальных форм и сортов растений методами биотехнологии: Автореф. дис. ... д. б. н. Барнаул, 2006. 34 с.

16. Плаксина Т.В. Биотехнология в сохранении биоразнообразия растений // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2017. № 16. С. 321–323.

17. Постановление Правительства Ярославской области от 09.02.2011 № 86 «Об утверждении перечней (списков) видов грибов, лишайников, растений и животных, занесённых в Красную книгу Ярославской области» (в ред. постановления Правительства области от 06.03.2015 № 239-п) [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/934029013> (Дата обращения: 11.08.2019).

18. Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е издание, дополненное и переработанное. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 635 с.

19. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora: Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. International Environment House. Switzerland, Geneva. 2013. 13 p.

20. IUCN Red List Categories and Criteria version 3.1. 2001. [Электронный ресурс] <http://www.iucnredlist.org/technical-documents/categories-and-criteria/2001-categories-criteria> (Дата обращения: 11.08.2019).

References

1. Russian Federation Red Book (plants and mushrooms) Moskva: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 855 p. (in Russian).

2. Yaroslavl Region Red Book. Yaroslavl: Akademia 76, 2015. 472 p. (in Russian).

3. Grulich V. Červený seznam cévnatých rostlin České republiky: třetí vydání. Preslia. 2012. V. 84. P. 631–645. (in Czech). doi: 10.23855/preslia.2018.367.

4. Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. European Red List of vascular plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 130 p. doi: 10.2779/8515.

5. Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych. Kraków: Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk, 2016. 44 p. (in Polish).

6. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki: Ministry of the environment, finnish environment institute, botanical museum, finnish museum of natural history, 1998. 351 p.

7. Vakhrameeva M.G., Varlygina T.I., Tatarenko I.V. Orchids of Russia: Biology, Ecology and Protection. Moskva: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. 437 p. (in Russian).

8. Kapelkina L.P., Teplyakova T.E. Transplantation and rehabilitation of the Red Book species of plants as a method of their conservation in conditions of technogenesis // Ecological, industrial and energy safety. Sevastopol: Izd-vo Sevastopolskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017. P. 580–583 (in Russian).

9. Chauhan R.S. Biotechnological approaches for conservation of rare, endangered and threatened plants // International Journal of Scientific and Research Publications. 2016. V. 6. P. 10–14.

10. Pathak M.K., Abido M.S. The role of biotechnology in the conservation of biodiversity // Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 2014. V. 2 (4). P. 352–363.

11. Rai M.K. Review: Biotechnological strategies for conservation of rare and endangered medicinal plants // Biodiversitas. 2010. No. 11. P. 157–166. doi: 10.13057/biodiv/d110310.

12. Denisova L.V., Nikitina S.V., Zaugolnicova L.B. Program and methodology for monitoring the cenopopulations of plant species in the Red Data Book of the USSR. Moskva: VASCNIL, 1986. 34 p. (in Russian).
13. Gorokhova V.V., Marakaev O.A. Ecosystems of the marshes of the Yaroslavl Region: condition and protection. Yaroslavl: YrGU, 2009. 160 p. (in Russian).
14. Marakaev O.A. Orchidaceae (Orchidaceae Juss.) in the specially protected natural territories of the Yaroslavl region // *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016. V. 18. No. 2. P. 136–140 (in Russian).
15. Vechernina N.A. Biodiversity protection of rare, vanish plant species, unicum plant forms and sorts using biotechnological methods: Avtoref. dis. doctora biol. nauk. Barnaul, 2006. 34 p. (in Russian).
16. Plaksina T.V. Biotechnology in plant biodiversity protection // *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*. 2017. No. 16. P. 321–323 (in Russian).
17. Yaroslavl Government Regulation of 09.02.2011 No. 86 “About ratification Yaroslavl Region Red Book species of mushrooms, lichens, plants and animals” (in editing of Yaroslavl Government Regulation of 06.03.2015 No. 239-p) [Internet resource] <http://docs.cntd.ru/document/934029013> (Accessed: 11.08.2019) (in Russian).
18. Maevsky P.F. Flora of the central part of European Russia. 11 ed. Moskva: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. 635 p. (in Russian).
19. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. International Environment House. Switzerland, Geneva. 2013. 13 p.
20. IUCN Red List Categories and Criteria version 3.1. 2001 [Internet resource] <http://www.iucnredlist.org/technical-documents/categories-and-criteria/2001-categories-criteria> (Accessed: 11.08.2019).

Динамика элементов приспособленности экспериментальных популяций дрозофилы в условиях хронического низкоинтенсивного облучения

© 2019. И. Н. Юранёва¹, к. б. н., директор,
В. Г. Зайнуллин^{1,2}, д. б. н., профессор, зав. лабораторией,
¹Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
167001, Россия, Сыктывкар, Октябрьский проспект, 55,
²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: yuraneva@mail.ru, zainullin@frc.komisc.ru

Изучены последствия хронического облучения в малых дозах для экспериментальных (перекрывающихся) популяций дрозофилы, полученных от линий дикого типа *Canton-S* и *Oregon-R*, различающихся по содержанию мобильных генетических элементов. Показано, что хроническое облучение (0,25 мГр/ч) на протяжении 30 поколений приводит к дестабилизации генома, проявляющейся в изменении показателей приспособленности и мутабельности популяций, а именно, в достоверном повышении уровня эмбриональной смертности, снижении уровня жизнеспособности, повышении частоты доминантных летальных мутаций, понижении плодовитости в облучаемых популяциях. Поскольку у изучаемых популяций реакция на хроническое облучение в малых дозах отличалась, можно предположить, что в основе дифференциальной чувствительности к облучению лежат особенности самих линий *Drosophila melanogaster*, а именно их различия в генотипе и цитотипе.

Ключевые слова: *Drosophila melanogaster*, экспериментальные популяции, хроническое облучение.

The dynamics of the elements of fitness of experimental populations of *Drosophila* under conditions of chronic low-intensity exposure

© 2019. I. N. Yuraneva¹ ORCID: 0000-0001-8287-81005[†]
V. G. Zainullin^{1,2} ORCID: 0000-0003-3343-9012[†]
¹Pitirim Sorokin Syktyvkar State University,
55, Oktyabrskiy Prospekt, Syktyvkar, Russia, 167001,
²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: yuraneva@mail.ru, zainullin@frc.komisc.ru

One of the main issues of radiobiology is the study not only of the sensitivity of cellular structures and individual systems of the body under chronic irradiation, but also the study of genetic variability of populations. Chronic exposure increases mutations in the population and stabilizes the number of mutations after several generations. It is shown that as a result of low-dose exposure to natural populations, the genetic load has been growing for many generations until the level of mutation load stabilizes.

The study of the dynamics of genetic variability of populations, which is characterized by indicators of adaptation of individuals (fertility, viability) to environmental conditions and mutation load (dominant lethal mutations) allows not only to assess the sensitivity of populations to the effects of adverse factors, but also to determine the mechanisms of maintaining homeosis populations in changing conditions. The effects of low-dose chronic radiation on experimental populations of *Drosophila* derived from wild-type lines that differ in the content of mobile genetic elements are studied. It is shown that chronic irradiation (0.25 mGy/h, Ra-226) for 30 generations leads to destabilization of the genome, manifested in changes in the indicators of adaptability and mutability of populations, namely, in a significant increase in the level of embryonic mortality, reducing the level of viability, increasing the frequency of dominant lethals, reducing fertility in irradiated populations.

Keywords: *Drosophila melanogaster*, experimental populations, chronic low irradiation.

Разработка концепции защиты природы от радиационных воздействий, обеспечивающей одновременно охрану здоровья человека, стабильное функционирование экосистем и предотвращение снижения биологического разнообразия, является на современном этапе одной из основных задач современной радиоэкологии [1]. Полученная на сегодня информация о последствиях «радиационных» аварий, привела к осознанию необходимости развития системы оценки экологического риска радиационных воздействий. Приложены значительные усилия к обоснованию фундаментальных принципов радиационной безопасности окружающей среды [2–4]. Одновременно большое внимание уделяется развитию методологии оценки экологического риска радиационных воздействий. Были получены первые количественные оценки уровней радиационного воздействия, превышение которых может привести к негативным эффектам в экосистемах [5]. В этой связи крайне необходимым является изучение последствий хронического облучения низкой интенсивности для популяций. Удобной моделью в таких исследованиях является дрозофила (*Drosophila melanogaster*).

Материалы и методы исследования

В эксперименте использовали перекрывающиеся популяции линий дикого типа *D. melanogaster*, различающихся по цитотипу. *Oregon-R* характеризуется наличием копий полноразмерного *hobo* элемента, линия *Canton-S* имеет в геноме I-элемент [6]. Исходные «перекрывающиеся» модельные популяции *Canton-S* и *Oregon-R* были получены от пары особей соответствующих линий на 20 поколении (одно поколение 14 дней). На 20 поколении популяции разделены на «контрольные» и «облучаемые» по три каждого варианта. Размер каждого популяционного ящика составляет 25 x 21 x 21 см ($V = 11025 \text{ см}^3$). Питательная среда находилась в 15 стаканчиках Вьеля, общий объём среды составлял около 200 мл; каждые три дня менялась питательная среда с тремя стаканчиками.

Контрольные и опытные популяции дрозофилы поддерживали в одинаковых условиях при температуре $25,0 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ и 12-часовом режиме освещения на дрожжевой изюмной среде. Анализ плодовитости, жизнеспособности, уровня смертности на эмбриональной стадии (ЭС), на стадиях личинки и куколки, учёт доминантных летальных мутаций (ДЛМ)

проводили в пенициллиновых флакончиках (объём питательной среды – 4 мл) по стандартным методикам [7].

Опытные популяции подвергались хроническому гамма-излучению от источника ^{226}Ra (5,6 сГр/ч) при мощности экспозиционной дозы 0,25 мГр/ч на протяжении всего эксперимента. Режим облучения был определён нами ранее [8]. Поглощённая доза за одно поколение составила 8 сГр. В работе использовали стандартные методы статистики и обрабатывали с использованием пакета Statistica v.8.

Результаты и обсуждение

При хроническом облучении происходит увеличение уровня мутаций в популяции и через несколько поколений число мутаций стабилизируется. Таким образом, в результате облучения в малых дозах на природные популяции наблюдается рост генетического «груза» на протяжении многих поколений до тех пор, пока уровень мутационного «груза» не стабилизируется [9–17].

Из литературы известно, что спонтанный уровень ЭС для линий дикого типа *D. melanogaster* не превышает 15% [8, 18]. Нами показано, что уровень ЭС в контрольных популяциях *Canton-S* и *Oregon-R* со второго по седьмое поколение, изменялся в пределах 14,3–36,1 и 12,8–19,8% соответственно (табл. 1). Варьирование уровня ДЛМ отмечено в течение первых десяти поколений в контрольной популяции *Canton-S* и 15-ти – *Oregon-R* (рис. 1). Итак, стабилизация динамики изменчивости генотипа этих популяций по показателю ЭС происходит одновременно. Тогда как по уровню ДЛМ популяция *Canton-S* восстанавливается быстрее.

При хроническом облучении 28-ми поколений популяции *Canton-S* отмечено достоверное превышение частоты ЭС (табл. 1) и уровня ДЛМ (рис. 1) до восьмого поколения и снижение величин этих показателей до контрольных значений в последующих поколениях. Иная динамика прослеживается в облучаемой популяции *Oregon-R*: достоверное увеличение частоты ЭС в сравнении с контрольным уровнем выявлено на втором поколении и сохраняется в течение 28-ми (табл. 1); превышение уровня ДЛМ показано на протяжении всего периода облучения (рис. 1). Можно заключить, что популяции *Canton-S* и *Oregon-R*, различающиеся по генотипу, по-разному реагируют на действие хронического гамма-излучения по показателям «эмбриональная смертность» и «доминантные летали».

Таблица 1 / Table 1

Динамика частоты эмбриональной смертности *Drosophila melanogaster* в условиях хронического облучения (%) / The dynamics of the frequency of embryo mortality of *Drosophila melanogaster* under conditions of chronic irradiation (%)

Поколение Generations	<i>Canton-S</i>		<i>Oregon-R</i>	
	контроль control	облучение irradiation	контроль control	облучение irradiation
1	10,7±1,0	18,1±1,8*	12,2±1,2	13,3±1,2
2	23,9±2,1	44,9±3,6*	16,0±2,0	24,9±2,7*
3	19,8±2,6	28,5±2,5*	18,3±2,2	28,1±3,0*
4	36,1±2,6	55,2±3,0*	13,5±1,6	54,7±2,6*
5	18,2±1,9	24,5±2,0*	16,3±1,8	24,0±2,3*
6	14,3±1,9	33,4±2,7*	12,8±1,7	22,4±2,2*
7	17,1±2,2	25,7±2,5*	19,8±2,1	29,4±2,8*
8	9,9±1,6	18,4±2,5*	11,2±1,7	22,6±2,4*
9	13,3±2,0	15,2±1,9	13,4±2,2	24,9±2,2*
10	11,2±2,1	14,8±2,0	13,0±2,5	25,5±2,5*
15	11,1±1,8	9,1±1,5	9,6±1,4	18,1±2,1*
20	7,4±1,7	9,4±1,5	8,1±1,8	6,1±1,4
21	8,9±1,2	9,9±1,4	11,5±1,6	17,6±1,8*
23	8,2±1,3	14,2±1,9*	8,2±1,4	16,4±1,7*
25	10,7±1,4	7,8±1,2	7,4±1,2	16,9±1,7*
28	5,2±0,8	6,6±1,0	7,6±1,1	14,7±1,4*

Примечание: * – данные достоверно отличаются от контроля при $p \leq 0,05$.
Note: * – the data are significantly different from the control at $p \leq 0,05$.

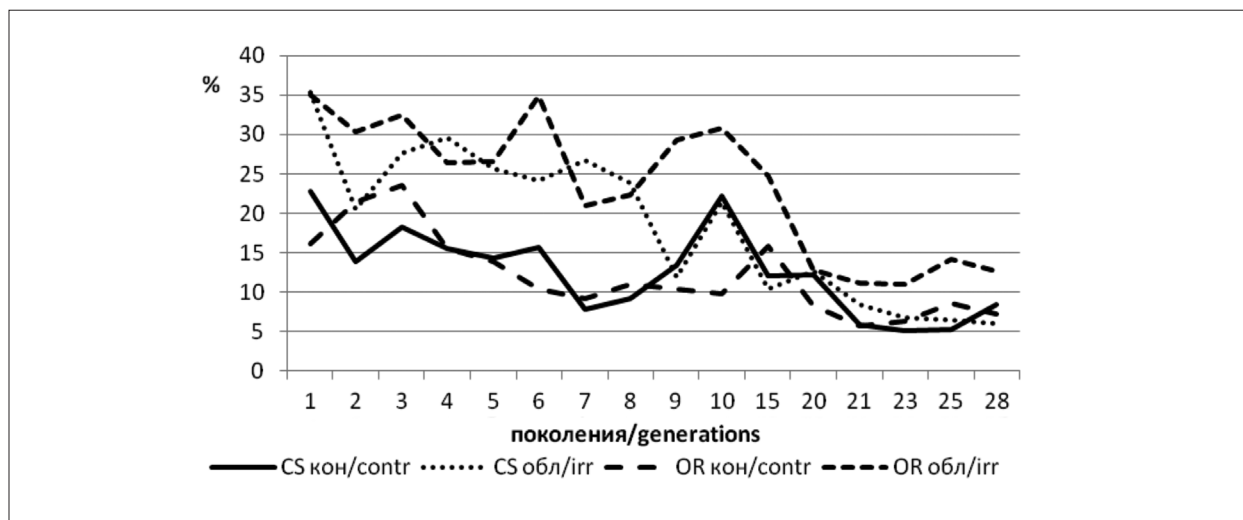


Рис. 1. Динамика частоты доминантных леталей в экспериментальных популяциях дрозофилы (%): CS кон, OR кон – контрольные популяции; CS обл, OR обл – облучаемые популяции
Fig. 1. Dynamics of frequency of dominant lethals in experimental populations of *Drosophila* (%): CS contr, OR contr – control populations; CS irr, OR irr – irradiated populations

В первом поколении в контроле уровень жизнеспособности имаго для популяции *Canton-S* составляет 82,7%, а для *Oregon-R* – 76,2% (табл. 2). При облучении популяций *Canton-S* в первом поколении после закладки популяции наблюдали достоверное ($p < 0,05$) снижение уровня жизнеспособности имаго (72,6%), в то время как этот показатель в популяции *Oregon-R* не изменялся (77,5%).

С 20-го по 30-е поколения облучения уровень жизнеспособности в популяциях *Canton-S* и *Oregon-R* ниже ($p < 0,05$), чем в контроле (табл. 2). При изучении экспериментальных популяций дрозофилы в условиях длительного рентгеновского облучения (в поколениях) было показано, что уровень жизнеспособности имаго к 30-му поколению оставался повышенным, по сравнению с уровнем

жизнеспособности контрольных популяций [19–21], что несколько противоречит полученным нами результатам.

Известно, что при снижении жизнеспособности численность популяций уменьшается и в этот момент наиболее выгодной адаптивной стратегией будет увеличение доли самок [22].

Соотношение по полу незначительно смещалось в сторону увеличения доли вылетевших самок в облучённых популяциях *Canton-S* и *Oregon-R* с 20-го по 30-е поколение. Максимальное увеличение доли вылетевших самок после облучения зафиксировано в популяции *Canton-S* на 23-м (52,0%, $F_{\phi} = 2,5$), в популяции *Oregon-R* на 20-м (53,0%, $F_{\phi} = 3,0$) и 23-м (52,6%, $F_{\phi} = 3,0$) поколениях. К 30-му поколению доля вылетевших самок в данных популяциях восстанавливается до контрольных значений.

Плотность населения в облучаемых популяциях *Canton-S* и *Oregon-R* понижена и составляет в среднем до 296 и 302 мух/популяционное поколение, тогда как в контрольных популяций равна соответственно 312 и 352 мух/популяционное поколение. В оптимальных условиях плотность популяций поддерживается на высоком уровне за счёт большей численности самцов в популяции [9], а при облучении плотность снижается за счёт уменьшения доли самцов [23].

В облучаемых популяциях *Canton-S* и *Oregon-R* за период с 20-го по 30-е поколение выявлена тенденция к снижению плодовитости облученных самок на 20-м поколении с 17 до 7 яиц/на самку и с 15 до 7 яиц/на самку соответственно (табл. 3). К 30-му поколению плодовитость в данных популяциях восстанавливается до нормы.

Таблица 2 / Table 2

Динамика жизнеспособности (%) особей контрольных и хронически облучаемых популяций *Canton-S* и *Oregon-R* / Dynamics of viability (%) individuals of the control and chronically irradiated populations of *Canton-S* and *Oregon-R*

Поколение Generations	<i>Canton-S</i>		<i>Oregon-R</i>	
	контроль control	облучение irradiation	контроль control	облучение irradiation
1	82,7±2,7	72,6±3,1*	76,2±2,8	77,5±2,9
20	88,5±0,6	81,0±1,0*	88,1±0,7	88,7±0,8
21	83,0±0,4	71,8±0,9*	83,8±0,4	72,2±0,8*
23	84,0±0,7	58,0±0,9*	85,6±0,7	59,5±0,9*
25	85,6±0,9	70,0±1,0*	86,1±0,6	75,1±0,9*
28	85,1±1,3	68,1±1,2*	87,4±1,0	74,8±1,2*
30	87,9±1,2	75,8±0,6*	86,1±1,2	78,3±0,6*

Примечание: * – данные достоверно отличаются от контроля при $p \leq 0,05$.

Note: * – the data are significantly different from the control at $p \leq 0,05$.

Таблица 3 / Table 3

Плодовитость (число яиц на одну самку в день) мух из контрольных и облучаемых популяций линии *Canton-S* и *Oregon-R* / Fertility (number of eggs per female per day) flies from the control and irradiated populations of *Canton-S* and *Oregon-R*

Поколение Generations	<i>Canton-S</i>		<i>Oregon-R</i>	
	контроль control	облучение irradiation	контроль control	облучение irradiation
0	17,0±6,9	15,0±6,4	6,0±2,4	6,0±2,6
1	17,0±7,0	20,0±8,3	5,0±2,3	11,0±4,7
3	18,0±7,8	19,0±8,5	18,0±8,6	14,0±5,7
5	17,0±6,9	15,0±6,4	8,0±3,1	8,0±3,1
10	13,0±5,6	15,0±7,1	10,0±3,9	11,0±4,7
20	16,0±6,9	15,0±6,4	7,0±2,8	6,0±2,7
21	17,0±6,9	20,0±8,3	13,0±6,0	15,0±7,0
23	18,0±7,8	19,0±8,5	17,0±7,4	19,0±7,9
25	13,0±5,6	15,0±5,5	14,0±5,7	13,0±5,1
28	6,0±2,5	5,0±1,9	6,0±2,5	4,0±1,7
30	10,0±4,1	12,0±5,1	13,0±6,5	13,0±5,9

Таким образом, степень проявления генетической нестабильности популяций *D. melanogaster* в ответ на хроническое облучение зависит от генотипа. На это указывает большая чувствительность к облучению популяции *Oregon-R*, у которой достоверное ($p < 0,05$) превышение частоты ДЛМ и ЭС отмечено на протяжении всего периода облучения (28 поколений), а в популяции *Canton-S* – до восьмого поколения.

Нами показано, что хроническое облучение популяций *D. melanogaster* в малых дозах приводит к дестабилизации генома, проявляющейся в изменении показателей приспособленности и мутабельности популяций, а именно, в достоверном повышении уровня ЭС и смертности на стадии куколки, снижении уровня жизнеспособности, повышении частоты ДЛМ, понижении плотности в облучаемых популяциях. Поскольку изучаемые популяции содержали одновременно и в одинаковых условиях, а динамика частоты ЭС, уровней жизнеспособности, ДЛМ в популяциях линий *Canton-S* и *Oregon-R* в условиях хронического облучения оказалась различной, можно предположить, что в основе дифференциальной чувствительности к радиации лежат особенности самих линий *D. melanogaster*, а именно их различия в генотипе и цитотипе.

References

1. Aleksakhin R.M., Geras'kin S.A., Udalova A.A. Recent results of research in the field of radioecology // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. V. 85. No. 4. P. 373–376 (in Russian).
2. IAEA. Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards // Tech. Rep. Ser. No. 332. Vienna, Austria. 1992.
3. ICRP. 2009. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // ICRP Pub. 108. Annals of the ICRP. V. 38. No. 4–6. 242 p.
4. Garnier-Laplace J., Della-Vedova C., Andersson P., Copplestone D., Cailes C., Beresford N.A., Howard B.J., Howe P., Whitehouse P.A. A multi-criteria weight of evidence approach for deriving ecological benchmarks for radioactive substances // J. Radiol. Protection. 2010. V. 30. P. 215–233. doi: 10.1088/0952-4746/30/2/S02.
5. Hebert P., Chikhi L., Bickham J.W., Sandhu S., Athwal R. Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations: implications for biomonitoring and ecotoxicology // Mutat. Res. 2000. V. 463. P. 33–51.
6. Yushkova E.A., Zainullin V.G. Specificity of formation of radiation effects in inbred individuals of *Drosophila melanogaster*, differing in the cytotype // Radiation biology. Radioecology. 2014. V. 54. No. 1. P. 27–34 (in Russian).
7. Tikhomirova M.M. Genetic analysis. Leningrad: LSU, 1990. 280 p. (in Russian).
8. Zainullin V.G. Genetic effects of chronic exposure to low doses of ionizing radiation. Sankt-Peterburg: Science, 1998. 100 p. (in Russian).
9. Ryabokon N.I., Smolich I.I., Goncharova R.I. Genetic processes in chronically irradiated populations of small mammals // Environmental Management and Health. 2000. V. 11. No. 5. P. 433–446.
10. Cordiero A.R., Marques E.K., Veiga-Neto A.J. Radioreistance of natural population of *Drosophila willistoni* living in a radioactive environment // Mutat. Res. 1973. V. 19. P. 325–329.
11. Kratz F.L. Radioresistance in natural populations of *Drosophila nebulosa* from a Brazilian area of high background radiation // Mutat. Res. 1975. V. 27. P. 347–355.
12. Nothel H. Investigations on radiosensitive and radioresistant populations of *Drosophila melanogaster*. I. Decreased radiosensitivity in stage-7 oocytes of irradiated population Ro-1 // Mutat. Res. 1970. V. 10. P. 463–474.
13. Nothel H. Investigations on radiosensitive and radioresistant populations of *Drosophila melanogaster*. II. Restriction of the decrease in radiosensitivity of the irradiated population Ro-1 to stage-7 oocytes // Mutat. Res. 1972. V. 15. P. 277–286.
14. Nothel H. Investigations on radiosensitive and radioresistant populations of *Drosophila melanogaster*. VII. High relative radioresistant to the induction of sex-linked recessive lethal in stage-7 oocytes of Ro-1 // Mutat. Res. 1976. V. 36. P. 245–248.
15. Nothel H. Adaptation of *Drosophila melanogaster* populations to high mutation pressure: evolutionary adjustment of mutation rates // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1987. V. 84. No. 4. P. 245–248.
16. Wallace B., King J.C. Genetic changes in populations under irradiation // Am. Naturalist. 1951. V. 85. P. 209–223.
17. Wallace B., King J.C. A genetic analysis of the adaptive values of populations // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1958. No. 38. P. 706.
18. Woodruff R.C., Slatko B.E. Factor affecting mutation rates in natural populations // Genetics and Biology of *Drosophila* / Eds. M. Ashburner, H.L. Carson, J.N.L. Thompson. N.Y.: Acad. Press, 1983. V. 3c. P. 37–61.
19. Wallace B. Genetic changes within populations after X-irradiations // Genetics. 1951. V. 51. P. 612–618.
20. Wallace B. Studies of populations exposed to radiation // Science. 1952. No. 115. P. 487–492.
21. Wallace B. Polymorphism population size and genetic load // Population Biology and Evolution / Ed. R.C. Levontin. 1986. P. 87–108.
22. Grechanny G.V., Pogodaeva M.V. Changes in the sexual composition of the population of *Drosophila* in the dynamics of population // Genetics (Genetika). 1996. V. 32. No. 10. P. 1349–1353 (in Russian).
23. Mosse I.B., Savchenko V.K., Lyakh I.P. The genetic monitoring of experimental populations of *Drosophila* irradiation and effects of a reverse mutator melanin. The dynamics of the elements of adaptation of populations // Radiobiology. 1986. V. 36. V. 1. P. 41–46 (in Russian).

Распространение, численность и охрана соколообразных птиц (Falconiformes) в Ненецком автономном округе

© 2019. О. Ю. Минеев, к. б. н., н. с.,
Ю. Н. Минеев, д. б. н., гл. н. с.,
С. К. Кочанов, к. б. н., с. н. с.,

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: mineev@ib.komisc.ru, kochanov@ib.komisc.ru

В результате анализа данных, собранных с 1973 по 2017 гг., и литературных источников приводятся сведения о численности, условиях обитания и распространения 18 видов хищных птиц отряда соколообразных на территории Ненецкого автономного округа. Достоверно определено гнездование 9 видов, предположительно гнездятся 3 вида, другие виды залетают в тундровую зону регулярно или случайно. Предложены мероприятия по охране соколообразных и улучшению местообитаний, используемых для размножения. Основой стратегии охраны хищных птиц в регионе является охрана их местообитаний в сочетании с законодательной охраной самих птиц, создание для них необходимых условий во все периоды годового цикла. Важным этапом является реализация проекта по организации сети охраняемых ключевых территорий для хищных птиц как основы охраны, мониторинга и изучения. Для сохранения естественных местообитаний хищных птиц предложены территории, имеющих большое значение для обитания и массового размножения хищных птиц.

Ключевые слова: соколообразные, Ненецкий автономный округ, распространение, численность, охрана.

Distribution, number and protection of the Falconiformes in Nenets Autonomous district

© 2019. O. Y. Mineev ORCID: 0000-0002-6587-8653,
Y. N. Mineev ORCID: 0000-0002-3215-2258,
S. K. Kochanov ORCID: 0000-0002-5810-6452,

Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: mineev@ib.komisc.ru, kochanov@ib.komisc.ru

The study on biodiversity and territorial distribution of order Falconiformes was conducted from 1973 to 2018 in tundra of Nenets Autonomous district. There are analyzing data on distribution and abundance of 18 species of birds of prey. On the surveyed area it is collected an information about type of staying of such genuses as: Pandion (1 species), Pernis (1 species), Circus (4 species), Accipiter (2 species), Buteo (2 species), Aquila (1 species), Haliaeetus (1 species), and Falco (6 species). It is determined authentic breeding of 11 species: Osprey, Northern Goshawk, Pallid Harrier, Hen Harrier, Rough-legged Buzzard, Golden Eagle, White-tailed Eagle, Gyrfalcon, Peregrine Falcon, Merlin and Common Kestrel. Hypothetically 3 species are breeding too. The category of passage birds is presented by Honey Buzzard, Pallid Harrier, Monard's Harrier, Marsh harrier, Sparrow Hawk and Eurasian Hobby. To preserve natural habitats it is proposed a number of areas of high importance for habitats and mass reproduction of birds of prey. The most perspective are basins of the rivers Belaya, Velt, Neruta, Bolshaya Rogovaya, Bolshaya Oyu, Sojma, Sula, and the lakes Urduizskie, Indigskie and Vasutkini.

Keywords: falconiformes, Nenets autonomous district, distribution, number, conservation.

Хищные птицы являются важным и неотъемлемым компонентом экосистем. Находясь на вершине пищевой цепочки, они могут служить прекрасным индикатором состояния окружающей среды. В связи с труднодоступностью территории Ненецкого автономного округа (НАО), особенностями экологии, поведения и малочисленности птиц этой группы, сбор данных по ним затруднён. В результате сведения о соколообразных птицах региона разрозненны и немногочисленны. Особый интерес к тундрам НАО обусловлен, помимо их малой изученности, и тем, что, несмотря на некоторые уже происшедшие антропогенные изменения, распространение хищных птиц на значительной части этой территории ещё остаётся близким к естественному.

Основной целью настоящего исследования было провести изучение видового состава, оценить численность и характер распространения дневных хищных птиц этого крупного региона. Данное исследование создаёт фактическую основу для изучения экологической роли хищных птиц в тундровых экосистемах, для принятия обоснованных административных решений использования и охраны птиц. Полученные сведения могут служить «точкой отсчёта» для будущих исследований в ходе непрекращающейся антропогенной трансформации ландшафта и фауны, и стать основой для организации биологического мониторинга и разработки эффективной стратегии охраны птиц в регионе.

На значительной части восточноевропейских тундр в настоящее время осуществляется разработка и добыча углеводородного сырья и развитие соответствующей инфраструктуры. Стремительный рост добычи природных ресурсов в регионе привёл к возникновению большого количества экологических проблем, среди которых на первый план выдвинулась необходимость спасения биоресурсов тундровой зоны и Баренцева моря. Не в последнюю очередь это касается и птиц, составляющих ядро тундровой наземной фауны.

Методы и районы исследования

Сбор полевого материала по количественному учёту хищных птиц, их гнёзд и выводков, распределению по местообитаниям, подсчёту плотности гнездования осуществлён на стационарах, во время лодочных, вездеходных и авиавизуальных маршрутов в мае–октябре 1973–2018 гг. Исследования проведены по стандартным методикам [1–2].

Сбор материала проводился: на Захарьином берегу Печорской губы (1977, 1988–1996); побережье и островах Коровинской губы (1993–1996, 2000, 2002); в районе оз. Урдюжское (1979, 1982, 1986, 2018); дельте Печоры (1977–1979, 1991–1996, 2000); на Сенгейском проливе (1978); на Хайпудырской (1976–1978, 1980), Карской (1982, 1983), Колоколковой (1999, 2002, 2003) и Кузнецкой губах (2005); в бассейнах рек: Большая Роговая (1973, 1975), Море-Ю (1974, 1978), Лымбадаяха (1981, 1983, 1984), Большая Ою (1981, 1987), Индига (1998), Нерута (1999), Урерьяха-Чёрная (1979, 2006), Шапкина (1992), Вельт (2001, 2004), Чёрная (Малоземельская тундра) (2004), Седяйю-Коротаиха (2008), Большая Светлая (2014), Сойма и Сула (2018); в районе Вашуткиных (2007), Падимейских (2009) и Сяттейских (2012–2014) озёр; междуречье Васьяха-Янгарей (2010); в пос. Варандей (2016).

Для получения сведений о численности соколообразных птиц, их размещении по территории НАО в июне–сентябре 1973–1977, 1979, 1983, 1985, 1987, 1991–1996, 1999 гг. на постоянных трансектах проведены наблюдения с борта самолёта АН-2, вертолётов МИ-2, МИ-4 и МИ-8.

Общая длина пешеходных маршрутов составила 6652 км, лодочных – 7747 км. Общая протяжённость авиамаршрутов составила около 40000 км, в среднем обследовано 3% территории региона.

При определении координат ключевых мест размножения хищных птиц использовались: спутниковый навигатор (Garmin) и компьютерная программа Google Earth. Виды птиц расположены согласно каталогу Л. С. Степаняна [3].

Результаты и обсуждение

Нами были обобщены результаты собственных исследований и опубликованные данные по численности и территориальному распределению 18 видов хищных птиц НАО [4–15].

Скопа (*Pandion haliaetus*) распространена в подзоне крайне северной тайги, лесотундровой зоне, поймах рек, ручьёв, озёрных котловинах, елово-берёзовых редколесьях. Гнездование скопы зарегистрировано нами 9 июля 2018 г. в ивняковых лесах низовьев р. Сула, в районе впадения в неё проток Печоры (Харгяхский Шар и Захребетный Шар) (рис. 1, см. цв. вкладку).

Обыкновенный осоед (*Pernis aprivorus*) распространён в подзоне северной тайги,

лесотундровой зоне, елово-берёзовых редколесьях. Отмечены единичные залёты в область островных лесов и на побережье Баренцева моря. В тёплые годы вероятны массовые залёты (рис. 1).

Полевой лунь (*Circus cyaneus*) встречается в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря, на островах не отмечен. Отмечен в поймах рек, ручьёв, ерниково-разнотравных, мохово-лишайниковых тундрах, комплексных болотах, елово-берёзовых редколесьях. Обычный, гнездящийся вид (рис. 1). Плотность населения в среднем равна 0,2 особей на 1 км².

Степной лунь (*Circus macrourus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зонах. Встречается в обширных ивняковых зарослях на склонах увалов, поймах рек, ручьёв. Отмечены, в основном, единичные встречи. Гнездование зарегистрировано на полуострове Канин в бассейне р. Кия (рис. 2, см. цв. вкладку).

Луговой лунь (*Circus pygargus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне. Встречается в холмистой кустарниковой тундре с озёрами и протоками, берегах озёр с густыми ивняками. Отмечены единичные залёты в тундровую зону (рис. 2).

Болотный лунь (*Circus aeruginosus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой, тундровой зоне. Встречается в елово-берёзовых редколесьях, на комплексных болотах. Отмечены единичные залёты в среднем течении р. Индига и в районе Колоколкиной губы (рис. 2).

Тетеревятник (*Accipiter gentilis*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря (рис. 2). Встречается в пойменных ленточных лесах, приозёрных ивняках, в кустарниковой тундре с сетью озёр и проток, в поймах рек и ручьёв. Оседло-кочующий вид, вероятно гнездится. Отмечены залёты в тундровую зону. Гнездится в лесотундровой зоне, в пойменных ленточных лесах и подзоне крайне северной тайги.

Перепелятник (*Accipiter nisus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой, тундровой зоне. Встречается в пойменных ленточных лесах, приозёрных ивняках. Отмечены единичные залёты в тундровую и лесотундровую зоны (рис. 2). Вероятно, гнездится в лесотундровой зоне, пойменных ленточных лесах и подзоне северной тайги.

Зимняк (*Buteo lagopus*) распространён в лесотундровой и тундровой зоне. Районы мас-

сового размножения отмечены на рисунке 3 (см. цв. вкладку). Распространён повсеместно, гнездится по берегам рек, ручьёв, проток, на оврагах, уступах и крутых склонах, в холмистых тундрах. Гнёзда устраивает по обрывам рек, на крупных кочках в тундре, на деревьях, на геодезических знаках и брошенных буровых вышках. Плотность населения в различные годы в зависимости от численности мелких млекопитающих составляет от 0,05 до 0,8 особей на 1 км².

Обыкновенный канюк (*Buteo buteo*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря, и в дельте Печоры. Встречается в елово-берёзовых редколесьях, ленточных пойменных лесах. Отмечены единичные залёты в тундровую зону, возможно, гнездится в дельте Печоры (рис. 3).

Беркут (*Aquila chrysaetus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря. Встречается в ленточных и островных лесах у рек и озёр, редколесьях, долинах рек, в крупнобугристых озёрных тундрах. Гнездование отмечено в районе пос. Несь и в районе г. Нарьян-Мар. Возможно, гнездится в лесотундровой зоне и подзоне северной тайги (рис. 4, см. цв. вкладку). Плотность населения в среднем равна 0,003 особи на 1 км².

Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) распространён в подзоне северной тайги, в лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря (рис. 5, см. цв. вкладку). Встречается и гнездится повсеместно в поймах и устьях рек, островах, морском побережье в тундре с крупными озёрными системами. Гнёзда устраивает на берёзах, древовидных ивах, холмах, геодезических знаках, брошенных буровых вышках. Плотность населения в среднем равна 0,012 особей на 1 км².

Кречет (*Falco rusticolus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря (рис. 6, см. цв. вкладку). Встречается в поймах рек, ленточных лесах, холмистой тундре и в тундрах с развитой озёрно-речной системой, на морском побережье. Регистрируется на большей части территории НАО. Редкий гнездящийся, оседло-кочующий вид. Гнездится на скалах, деревьях, древовидных ивах, обрывах рек, геодезических знаках и брошенных буровых вышках. Занимает гнёзда ворона, зимняка, дербника. Плотность населения в среднем равна 0,002 особей на 1 км².

Сапсан (*Falco peregrinus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой

и тундровой зоне до побережья Баренцева моря (рис. 7, см. цв. вкладку). Встречается в долинах рек, ручьёв, оврагах, на крупных озёрах, морском побережье. Гнездится на большей части территории НАО, на обрывах по берегам рек, озёр, на древовидных ивах, на геодезических знаках и брошенных буровых вышках. Плотность населения в среднем равна 0,01 особей на 1 км².

Чеглок (*Falco subbuteo*) распространён в подзоне северной тайги, в лесотундровой зоне, в долинах рек и ручьёв, в зарослях ивняков с древовидными ивами. Отмечены единичные залёты на территорию НАО в среднем течении р. Индига и в районе оз. Урдюжское (рис. 7).

Дербник (*Falco columbarius*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне до побережья Баренцева моря. Встречается в ленточных лесах, в долинах рек и ручьёв, в зарослях ивняков с древовидными ивняками, в оврагах, на морском побережье, среди озёрных систем (рис. 8, см. цв. вкладку). Гнездится на большей части территории НАО, на обрывах по берегам рек, озёр, на древовидных ивах, елях, берёзах, геодезических знаках и брошенных буровых вышках. Плотность населения в среднем равна 0,1 особей на 1 км².

Кобчик (*Falco vespertinus*) распространён в подзоне северной тайги, лесотундровой и тундровой зоне, в ленточных лесах, в долинах рек и ручьёв, в зарослях ивняков с древовидными ивняками, среди озёрных систем. Отмечены единичные залёты в тундровую зону в среднем течении р. Индига и нижнем течении р. Вельт (рис. 8).

Обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus*) распространена в подзоне северной тайги, в лесотундровой и тундровой зоне. Может встречаться в тундровых редколесьях, пойменных ленточных лесах, крупноерниковой тундре. Эпизодическое гнездование отмечено в районе устья р. Язма (полуостров Канин) (рис. 8). Возможно, гнездится в районе пос. Варандей.

Роль антропогенных и природных факторов в динамике численности и изменении местообитаний видов хищных птиц

Ненецкого автономного округа

Антропогенные изменения всегда обедняют фауну и делают уязвимыми сохранившиеся виды и популяции. Снижение биоразнообразия происходит, в первую очередь,

за счёт утраты редких видов. Численность многих видов хищных птиц по ряду причин в последние десятилетия сокращается. Это происходит вследствие хозяйственного освоения, сокращения площадей и ухудшения качества угодий многих, ещё недавно нетронутых территорий, где птицы издавна гнездились.

Немаловажную роль в сокращении численности хищных птиц играют незаконные отстрел и разорение гнёзд, сбор яиц и птенцов для последующей продажи, фактор беспокойства, а также другие ещё не выясненные факторы. Отстрел хищных птиц нередко производят оленеводы. Наиболее часто они преследуют и отстреливают крупных хищников, таких как беркут и орлан-белохвост. Эти виды уничтожаются оленеводами как вредные хищники, опасные для стельных важенок и телят. Оленеводами также практикуется изъятие яиц из гнёзд практически всех видов птиц, включая хищников (независимо от стадии насиживания), для использования в пищу. Многих хищников отстреливают для изготовления чучел и пополнения частных коллекций. С целью продажи возросла роль незаконного отлова, изъятия яиц и птенцов из гнёзд таких престижных ловчих видов птиц, как тетеревиный, беркут, кречет и сапсан [16]. Вырубка островных лесов и уменьшение количества деревянных геодезических вышек в тундровой зоне сокращает количество потенциальных мест гнездования многих видов хищников (скопа, тетеревиный, орлан-белохвост, беркут, кречет, сапсан, чеглок, дербник).

В качестве положительного примера антропогенного воздействия на среду обитания хищных птиц можно привести установление в тундровой зоне геодезических знаков. Ранее они изготавливались из дерева, с площадкой для измерений, которая была очень удобной для устройства гнёзд хищных птиц. Особенно такие площадки необходимы виду, начинающему рано гнездиться – кречету. В апреле, когда вся тундра под снегом, только такие вышки могут предоставить удобное для гнездования место. В настоящее время многие деревянные геодезические вышки сгнили, на их место поставлены стальные, без соответствующих удобных для гнездования площадок. Следующим положительным моментом для гнездования хищников является наличие брошенных буровых вышек геологоразведки [17]. В целом, это явление является неприемлемым с точки зрения охраны окружающей среды, но на хищников оно оказывает положительное воздействие.

О. Ю. МИНЕЕВ, Ю. Н. МИНЕЕВ, С. К. КОЧАНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ЧИСЛЕННОСТЬ И ОХРАНА СОКОЛООБРАЗНЫХ ПТИЦ (FALCONIFORMES) В НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ, С. 65

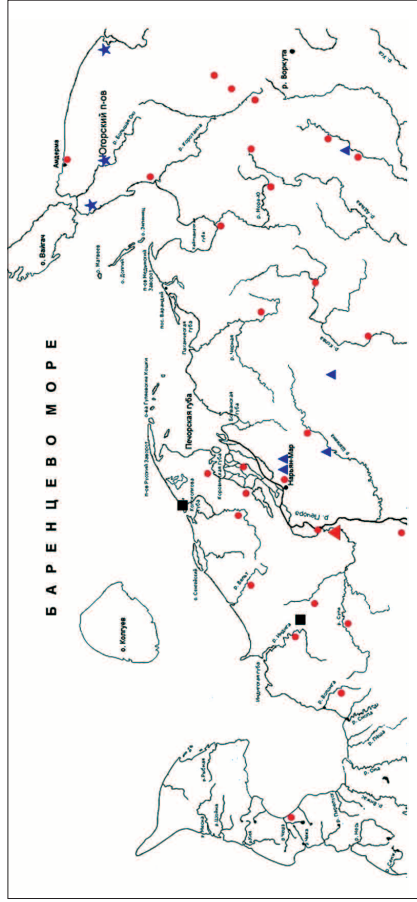


Рис. 1. Места встреч – ▲ и гнездования – ▲ скопы, места встреч обыкновенного осоеда – ●. Ключевые места гнездования – ● и северных залётов полевого луны – ★

Fig. 1. Sites of meetings – ▲ and breeding – ▲ of Osprey, meeting sites of Honey Buzzard – ●. Key breeding sites – ● and northern flights of the Hen Harrier – ★

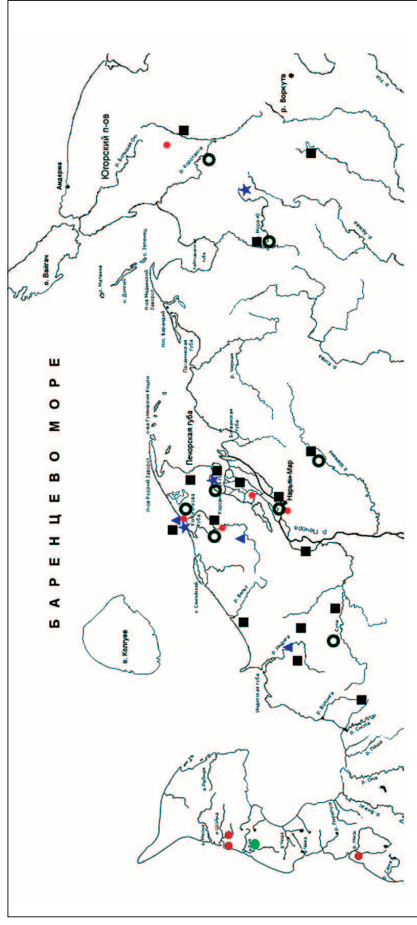


Рис. 2. Места встреч – ● и гнездования – ● степного луны, места встреч лугового луны – ★, болотного луны – ▲, тетеревятника – ■, перепелятника – ●

Fig. 2. Sites of meetings – ● and breeding – ● of Pallid Harrier, meeting sites of Montagu's Harrier – ★, Marsh Harrier – ▲, Northern Goshawk – ■, Sparrow Hawk – ●

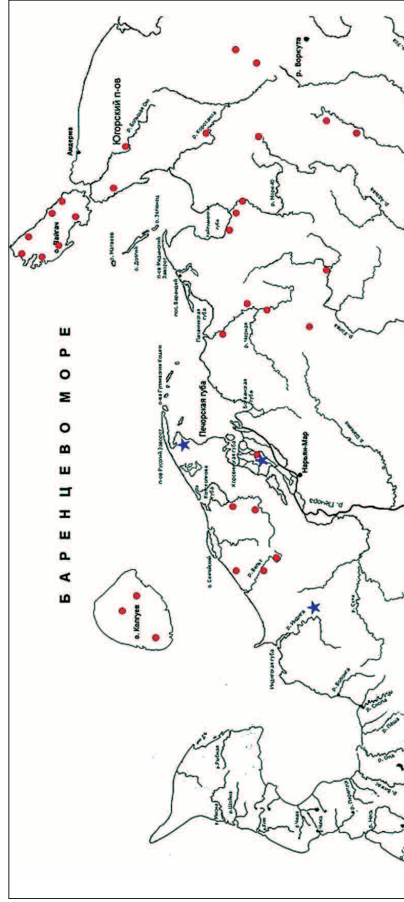


Рис. 3. Массовые места размножения и самые северные места встреч зимняка – ● и места встреч обыкновенного канюка – ★

Fig. 3. Mass breeding sites and northernmost meeting sites of the Rough-legged Buzzard – ● and meeting sites of the Common Buzzard – ★

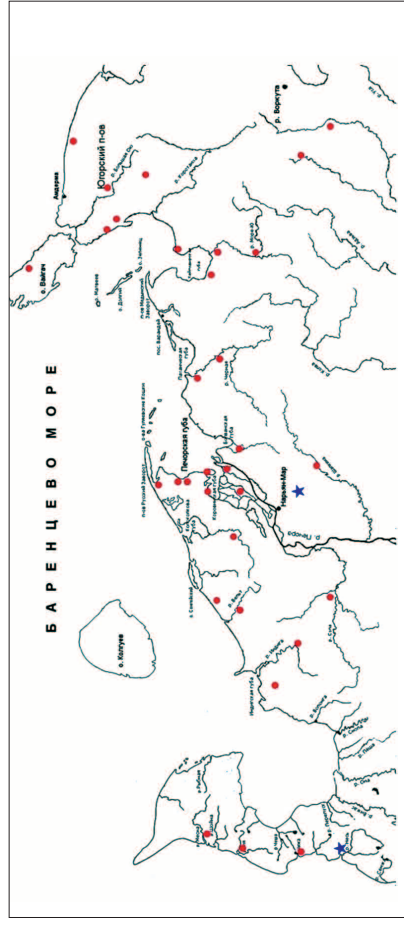


Рис. 4. Места встреч – ● и места гнездования – ★ беркута

Fig. 4. Meeting – ● and breeding sites ★ of the Golden Eagle

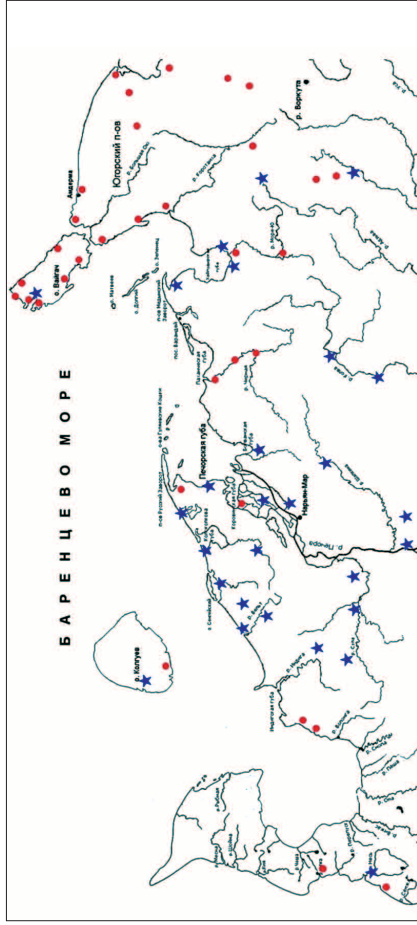


Рис. 5. Места встреч – ● и места гнездования ★ орлана-белохвоста
Fig. 5. Meeting – ● and breeding sites ★ of the White-tailed Eagle

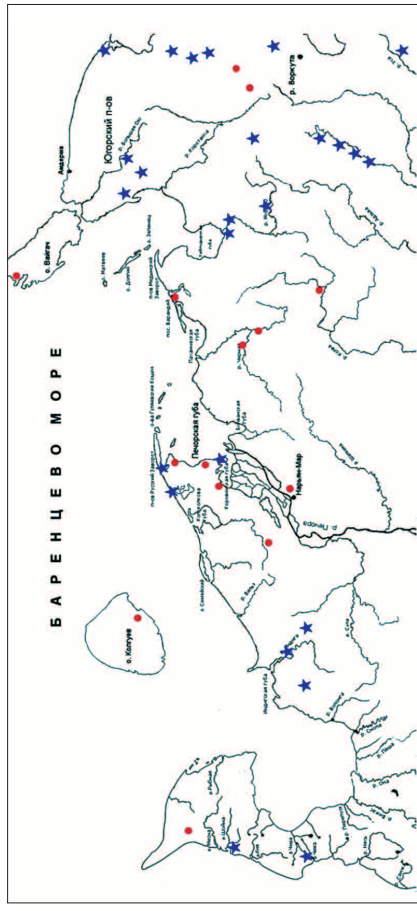


Рис. 6. Места встреч – ● и места гнездования ★ кречета
Fig. 6. Meeting – ● and breeding sites ★ of the Gyrfalcon

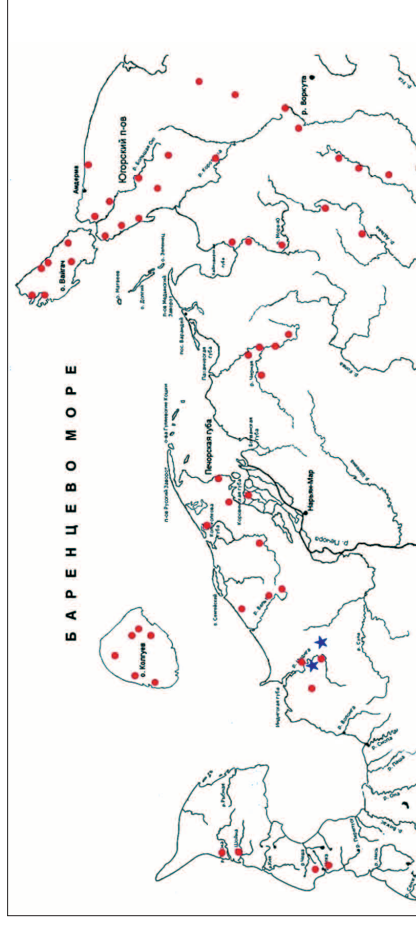


Рис. 7. Ключевые места гнездования сапсана – ●, места встреч чирлака – ★
Fig. 7. Key breeding sites of the Peregrine Falcon – ●, and meeting sites of the Hobby – ★

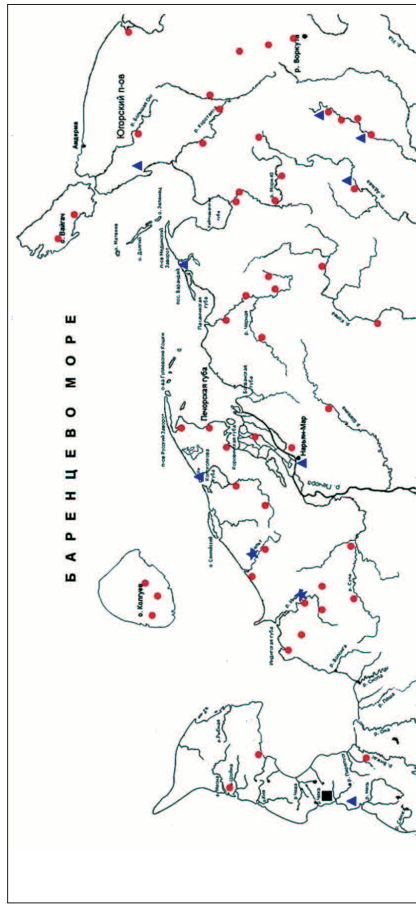


Рис. 8. Ключевые места гнездования дербника – ●, места встреч кобчика – ★, места встреч – ▲ и гнездования ■ обыкновенной пустельги
Fig. 8. Key breeding sites of the Merlin – ●, meeting sites of the Red-footed Falcon – ★, meeting sites – ▲ and breeding sites ■ of the Common Kestrel

К основным природным факторам, оказывающим влияние на динамику численности хищных птиц, можно отнести следующие:

1. Изменение состояния кормовой базы (флуктуации численности видов-жертв). Наиболее важными объектами (особенно для неперелётных видов) являются – мышевидные грызуны (цикл 3–4 года), заяц-беляк (цикл 10–11 лет), белая куропатка (цикл 6–7 лет). Водоплавающие и воробьиные птицы имеют относительно стабильную численность, поэтому не оказывают такого сильного воздействия [18, 19].

2. Сокращение удобных для гнездования мест (разрушение геодезических вышек, обрушение удобных для гнездования берегов рек и скал) [20].

3. Неблагоприятные для гнездования погодные условия (поздняя холодная весна, сильные, штормовые ветра, паводки).

4. Эпизоотии хищных видов птиц. Влияние этого фактора на численность хищных видов птиц ещё недостаточно изучено [21, 22].

Потенциальная опасность хозяйственной деятельности для гнездования хищных птиц

Необходимость охраны уникальной территории Европейского Северо-Востока России очевидна. Следует принять во внимание риск от возможных нарушений и загрязнения окружающей среды, связанных с добычей нефти, газа и строительством соответствующей инфраструктуры в ключевых местах гнездования хищных птиц.

Состояние тундровых местообитаний и акваторий прибрежных мелководий Баренцева моря НАО в настоящее время вызывает опасения. Нефтегазопромысловое освоение территории и создание транспортной инфраструктуры обедняет видовое разнообразие птиц и ведёт, в конечном счёте, к деградации тундровых экосистем [23]. Сложность природных условий и высокая уязвимость экосистем НАО в условиях антропогенной трансформации является основным фактором в деградации биологических компонентов природной среды, которая служит жизненной ареной хищным птицам. Ряд ценных местообитаний восточноевропейских тундр утрачивают значение как места массового размножения птиц, как видов-жертв, так и хищников. Наибольшие изменения в тундровых экосистемах отмечены в Большеземельской тундре: на полуострове Медынский Заворот,

в бассейнах рек Уреръяха, Чёрная, Колва, Шапкина, Море-Ю и на побережье Баренцева моря. Активное освоение нефтегазовых запасов началось и в Малоземельской тундре. Интенсификация добычи нефти приводит к масштабному загрязнению водных и наземных местообитаний, при этом дополнительно значительно усиливается фактор беспокойства.

Анализ существующей системы ООПТ регионального значения Ненецкого автономного округа на предмет охраны редких и видов хищных птиц

Проблема сохранения природных комплексов тундровой зоны в силу природно-экономических особенностей имеет большую остроту по сравнению с другими районами [23]. Последнее обусловлено тем, что тундровый биом характеризуется сообществами, которым в общих суровых условиях свойственны низкая ценотическая активность и малая экспансия, что, в конечном счёте, обуславливает их повышенную уязвимость и низкую устойчивость к антропогенным воздействиям.

Общая стратегия охраны видов должна заключаться в сохранении возможно большего числа естественных местообитаний, а также создании условий для заселения их ранее обитавшими, но исчезнувшими видами. По территории НАО хищные птицы распределены достаточно равномерно, с относительно большей численностью в районах с высокой концентрацией кормовых объектов и мест, пригодных для размножения. Подавляющее большинство ценных для хищных птиц тундровых местообитаний пока не охраняются.

Основой стратегии охраны хищных птиц на современном этапе должна быть охрана их местообитаний в сочетании с законодательной охраной самих птиц, создание для них необходимых условий во все периоды годового цикла. Важным этапом является реализация проекта по организации сети охраняемых ключевых территорий для хищных птиц как основы охраны, мониторинга и изучения. В эту сеть могут входить следующие районы: бассейны рек – Белая, Сойма, Большая Ою, районы озёр Урдюжское, Индигские, Вашуткины, верхнее течение рек Вельт и Нерута, среднее течение р. Большая Роговая [24, 25]. В первую очередь необходимо сохранить водно-болотные угодья, имеющие особое значение в качестве мест обитаниях водоплавающих птиц, приоритетная роль которых опреде-

лена Рамсарской конвенцией. Перечисленные выше территории соответствуют критериям ключевых орнитологических территорий всемирного и общеевропейского значения. В качестве дополнительных мер по сохранению местообитаний на территории полуострова Русский Заворот, Коровинской (территория Ненецкого государственного заповедника) и Колоколкинской губ [24, 25] является организация на их основе биосферного заповедника.

Заключение

На территории НАО отмечено 18 видов птиц, принадлежащих к отряду соколообразных *Falconiformes*. Собраны сведения о характере пребывания родов *Pandion* (1), *Pernis* (1), *Circus* (4), *Accipiter* (2), *Buteo* (2), *Aquila* (1), *Haliaeetus* (1) и *Falco* (6 видов). Установлено достоверное гнездование 11 видов и предположительное – 3 видов, другие хищники регулярно или эпизодически залетают в тундровую зону. В Красную книгу России и Красную книгу НАО занесено 6 видов: скопа, степной лунь, беркут, орлан-белохвост, кречет, и сапсан [26, 27].

В целях стабилизации и повышения численности гнездящихся видов дневных хищных птиц необходимо регулярно проводить следующие мероприятия:

1. Установление искусственных площадок для гнездования в ключевых районах размножения в тундровой зоне [28].

2. Проведение разъяснительной работы среди оленеводов в отношении уничтожения хищных видов птиц, в особенности таких, как беркут и орлан-белохвост. Установление выплат материальной компенсации оленеводам в случае потерь молодняка при нападении хищных видов птиц (по примеру стран Западной Европы и Северной Америки).

3. Снижение фактора беспокойства со стороны хозяйствующих субъектов. Установление строгого контроля над посещением персоналом территорий, не входящих в состав эксплуатируемого месторождения, в том числе предотвращение случаев браконьерства. Запрещение въезда на территорию месторождения с орудиями лова и отстрела.

4. Предотвращение случаев незаконного изъятия яиц, птенцов и отстрела хищных птиц на территории НАО посредством усиления патрулирования в ключевых местах размножения хищников, а также усиление таможенного контроля при вывозе из НАО объектов животного мира.

5. Регулярное проведение исследований специалистами по выявлению важных мест размножения хищных птиц.

6. Создание питомника для разведения и последующего выпуска в дикую природу редких и находящихся под угрозой исчезновения видов хищных птиц.

7. Организация сети охраняемых ключевых территорий для хищных птиц как основы охраны, мониторинга и изучения в следующих районах: бассейны рек – Белая, Сойма, Сула и Большая Ою, районы озёр Урджукское, Индигские и Вашуткины, верхнее течение рек Вельт и Нерута, среднее течение р. Большая Роговая. Перечисленные выше территории соответствуют критериям ключевых орнитологических территорий общеевропейского и всемирного значения.

Научно-исследовательские работы выполнены по теме «Распространение, систематика и пространственная организация фауны и населения наземных и водных животных таёжных и тундровых экосистем европейского северо-востока России». № гос. регистрации АААА-А17-117112850235-2.

Литература

1. Успенский С.М. Количественный учёт наземных птиц в тундре // Орнитология. Вып. 3. 1960. С. 444–450.
2. Кищинский А.А. Учёты птиц с самолета // Труды Окского государственного заповедника. 1973. Вып. 9. С. 197–235.
3. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М., 2003. 808 с.
4. Карпович В.Н., Коханов В.Д. Фауна птиц острова Вайгач и Северо-Востока Югорского полуострова // Труды Кандалкашского государственного заповедника. М.: Лесная промышленность. 1967. Вып. 5. С. 268–335.
5. Кондратьев А.В., Зайнагутдинова Е.М., Глазов П.М., Крюкенберг Г., Феиге Н., Контюкорпи Й., Дирцке Й. Условия гнездования птиц в верховьях р. Песчанки, о. Колгуев, Баренцево море // Птицы Арктики. Информационный бюллетень международного банка данных по условиям размножения. 2008. № 10. С. 7–8.
6. Кондратьев А.В., Зайнагутдинова Э.М. Степной лунь *Circus macrourus* на полуострове Канин // Русский орнитологический журнал. Экспресс-выпуск. 2010. Т. XIX. № 616. С. 2174–2177.
7. Литвин К.Е., Гуртова Е.Н., Дрент Р., Проп Й., Айхорн Г. Условия гнездования птиц в низовьях р. Шойна, п-ов Канин, Россия // Птицы Арктики. Информа-

ционный бюллетень международного банка данных по условиям размножения. 2003. № 5. С. 5.

8. Литвин К.Е., Анисимова О.Ю. Новые данные о птицах Колоколковой губы (Малоземельская тундра) // Орнитология. 2012. Вып. 37. С. 39–49.

9. Минеев Ю.Н., Минеев О.Ю. Птицы Малоземельской тундры и дельты Печоры. СПб.: Наука, 2009. 263 с.

10. Минеев Ю.Н., Минеев О.Ю. Птицы Большеземельской тундры и Югорского полуострова. СПб.: Наука, 2012. 383 с.

11. Успенский С.М. Птицы востока Большеземельской тундры, Югорского полуострова и острова Вайгач // Труды института биологии УФ АН СССР. 1965. Вып. 38. С. 65–102.

12. Mineev O.Y., Mineev Y.N. Biodiversity of birds of prey in the tundra of Nenets autonomous District of Arkhangelskaya, Russia // 10th Conference of the European Ornithologists Union: Abstracts of the conference. Badajoz, Spain, 2015. P. 311.

13. Mineev Y.N., Mineev O.Y. Distribution and biology of Peregrine Falcon *Falco peregrinus* in East-European tundras of Russia // Bird Numbers 2007: Monitoring for Conservation and Management: 17th International Conference of the European Bird Census Council. Abstracts of the conference. Chiavenna (Italy), 2007. P. 14–15.

14. Mineev Y.N., Mineev O.Y. Number and ecology of White-tailed Eagle *Haliaeetus albicilla* in European north-east of Russia // Bird Numbers 2007: Monitoring for Conservation and Management: 17th International Conference of the European Bird Census Council. Abstracts of the conference. Chiavenna (Italy), 2007. P. 61–62.

15. Mineev Y.N., Mineev O.Y. The Gyrfalcon in the tundra of Nenets Autonomous District of Arhangelskaya, Russia // Gyrfalcons and Ptarmigan in a Changing World. 2012. V. 1. P. 253–258.

16. Potapov E., Sale R. The gyrfalcon. London: T&AD Poyser, 2005. 288 p.

17. Ritchie R.J. Effects of oil development on providing nesting opportunities for Gyrfalcons and Rough-legged Hawks in northern Alaska // Condor. 1991. V. 93. P. 180–184.

18. Nielsen Ó.K., Pétursson G. Population fluctuations of Gyrfalcon and Rock Ptarmigan: Analysis of export figures from Iceland // Wildlife Biology. 1995. No. 1. P. 65–71.

19. Henderson D., Bird D. Gyrfalcon // The breeding birds of quebec. Province of quebec society for the protection of birds. Montreal, 1996. P. 1123–1125.

20. Langvatn R., Moksnes A. On the breeding ecology of the Gyrfalcon *Falco rusticolus* in central Norway // Fauna Norvegica. Series C. Cinclus 2. 1979. P. 27–39.

21. Newton I. Population ecology of raptors. T & AD Poyser, Berkhamsted, 1979. 284 p.

22. Sutton G.M. The Ecology of the Peregrine and Gyrfalcon population in Alaska, Tom Cade, University of California Press, Berkley. 1960. Science 132. P. 1832–1833.

23. Uspenskiy S.M. Life in high latitudes: a study of bird life. A. A. Balkema, Rotterdam, 1984. 460 p.

24. Водно-болотные угодья России. Т. 3. (Водно-болотные угодья, внесённые в Перспективный список Рамсарской конвенции). М.: Wetlands International Global Series. 2000. № 3. 490 с.

25. Минеев Ю.Н. Охрана водно-болотных угодий на Европейском северо-востоке России // Финно-угорский мир: Состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды: Матер. междунар. конф. Сыктывкар, 2000. С. 205–208.

26. Красная книга Ненецкого автономного округа / Отв. ред. Н.В. Матвеева, науч. ред. О.В. Лавриненко, И.А. Лавриненко. Нарьян-Мар, 2006. 450 с.

27. Красная Книга России: правовые акты (Официальное издание Госкомитета РФ по охране окружающей среды). М., 2000. 149 с.

28. Tømmeraas P.J. Artificial nest sites for the Gyrfalcon and Peregrine // Vår Fuglefauna 1. 1978. V. 1. P. 142–151.

References

1. Uspenskiy S.M. Quantitative account of terrestrial birds in tundra // Ornitologiya. V. 3. 1960. P. 444–450 (in Russian).

2. Kishchinskiy A.A. Surveys of birds from aircraft // Trudy Okskogo gosudarstvennogo zapovednika. 1973. V. 9. P. 197–235 (in Russian).

3. Stepanyan L.S. Synopsis of the ornithological fauna of Russia and adjacent territories (within the borders of the USSR as a historic region). Moskva, 2003. 808 p. (in Russian).

4. Karpovich V.N., Kokhanov V.D. Fauna of birds of the Vaygach island and the North-East of the Yugorskij peninsula // Trudy Kandalkashskogo gosudarstvennogo zapovednika. Moskva: Lesnaya promyshlennost, 1967. V. 5. P. 268–335 (in Russian).

5. Kondratyev A.V., Zaynagutdinova E.M., Glazov P.M., Kryukenberg G., Feige N., Kontiokorpi Y., Dirshchke Y. Breeding conditions of birds in upper stream of Peshanka River, Kolguev Island, Barents Sea // Ptitsy Arktiki. Informatsionnyy byulleten mezhdunarodnogo banka dannykh po usloviyam razmnozheniya. 2008. No. 10. P. 7–8 (in Russian).

6. Kondratyev A.V., Zaynagutdinova E.M. The pallid harrier *Circus macrourus* on the Kanin peninsula // Russkiy ornitologicheskij zhurnal. Ekspres-vypusk. 2010. V. XIX. No. 616. P. 2174–2177 (in Russian).

7. Litvin K.E., Gurtovaya E.N., Drent R., Prop Y., Aykhorn G. Breeding conditions of birds in lower course of Shoina River, Kanin peninsula, Russia // Ptitsy Arktiki. Informatsionnyy byulleten mezhdunarodnogo banka dannykh po usloviyam razmnozheniya. 2003. No. 5. P. 5 (in Russian).

8. Litvin K.E., Anisimova O.Y. New data on birds of Kolokolkova bay (Malozemelskaya tundra) // Ornitologiya. 2012. V. 37. P. 39–49 (in Russian).

9. Mineev Y.N., Mineev O.Y. **Birds of the Malozemelskaya tundra and Pechora River Delta.** Sankt-Peterburg: Nauka, 2009. 263 p. (in Russian).
10. Mineev Y.N., Mineev O.Y. **Birds of the Bolshezemelskaya tundra and the Yugorskiy peninsula.** Sankt-Peterburg: Nauka, 2012. 383 p. (in Russian).
11. Uspenskiy S.M. Birds of the east of Bolshezemelskaya tundra, Yugorskiy peninsula and Vaigach island // *Trudy instituta biologii UF AN SSSR.* 1965. V. 38. P. 65–102 (in Russian).
12. Mineev O.Y., Mineev Y.N. Biodiversity of birds of prey in the tundra of Nenets autonomous District of Arkhangelskaya, Russia // 10th Conference of the European Ornithologists Union, abstracts. Badajoz, Spain, 2015. P. 311.
13. Mineev Y.N., Mineev O.Y. Distribution and biology of Peregrine Falcon *Falco peregrinus* in East-European tundras of Russia // *Bird Numbers 2007: Monitoring for Conservation and Management: 17th International Conference of the European Bird Census Council. Abstracts of the conference.* Chiavenna (Italy), 2007. P. 14–15.
14. Mineev Y.N., Mineev O.Y. Number and ecology of White-tailed Eagle *Haliaeetus albicilla* in European north-east of Russia // *Bird Numbers 2007: Monitoring for Conservation and Management: 17th International Conference of the European Bird Census Council. Abstracts of the conference.* Chiavenna (Italy), 2007. P. 61–62.
15. Mineev Y.N., Mineev O.Y. The Gyrfalcon in the tundra of Nenets Autonomous District of Arkhangelskaya, Russia // *Gyrfalcons and Ptarmigan in a Changing World.* 2012. V. 1. P. 253–258.
16. Potapov E., Sale R. *The gyrfalcon.* London: T&AD Poyser, 2005. 288 p.
17. Ritchie R.J. Effects of oil development on providing nesting opportunities for Gyrfalcons and Rough-legged Hawks in northern Alaska // *Condor.* 1991. V. 93. P. 180–184.
18. Nielsen Ó.K., Pétursson G. Population fluctuations of Gyrfalcon and Rock Ptarmigan: Analysis of export figures from Iceland // *Wildlife Biology.* 1995. No. 1. P. 65–71.
19. Henderson D., Bird D. Gyrfalcon // *The breeding birds of quebec. Province of quebec society for the protection of birds.* Montreal, 1996. P. 1123–1125.
20. Langvatn R., Moksnes A. On the breeding ecology of the Gyrfalcon *Falco rusticolus* in central Norway // *Fauna Norvegica. Series C. Cinclus* 2. 1979. P. 27–39.
21. Newton I. *Population ecology of raptors.* T & AD Poyser, Berkhamsted, 1979. 284 p.
22. Sutton G.M. *The Ecology of the Peregrine and Gyrfalcon population in Alaska,* Tom Cade, University of California Press, Berkley. 1960. *Science* 132. P. 1832–1833.
23. Uspenskiy S.M. *Life in high latitudes: a study of bird life.* A.A. Balkema, Rotterdam, 1984. 460 p.
24. *Wetlands of Russia. (Vodno-bolotnyye ugodya, vnesennyye v Perspektivnyy spisok Ramsarskoy konvetsii).* Moskva: Wetlands International Global Series. 2000. No. 3. 490 p. (in Russian).
25. Mineev Y.N. Protection of wetlands on European North-east of Russia // *Finno-Ugric world: State of nature and regional strategy for environmental protection: Mater. mezhdunarod. konf. Syktyvkar,* 2000. P. 205–208 (in Russian).
26. *Red Book of the Nenets autonomous district /* Eds. N.V. Matveyeva, O.V. Lavrinenko, I.A. Lavrinenko. Naryan-Mar, 2006. 450 p. (in Russian).
27. *Red Book of Russia: legal acts (Ofitsialnoye izdaniye Goskomiteta RF po okhrane okruzhayushchey sredy).* Moskva, 2000. 149 p. (in Russian).
28. Tømmeraas P.J. Artificial nest sites for the Gyrfalcon and Peregrine // *Vår Fuglefauna* 1. 1978. V 1. P. 142–151.

The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content

© 2019. E. I. Tikhomirova¹ ORCID: 0000-0001-6030-7344²

O. A. Plotnikova¹ ORCID: 0000-0003-2715-044x², O. V. Atamanova¹ ORCID: 0000-0002-3220-031x²

M. V. Istrashkina¹ ORCID: 0000-0002-4538-5907², A. V. Koshelev¹ ORCID: 0000-0002-1623-734x²

A. L. Podolsky^{1, 2} ORCID: 0000-0001-7617-0709²

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
77, Politekhnicheskaya St., Saratov, Russia, 410054,

²North Carolina State University,
NC 27695-7313, Raleigh, USA,

e-mail: tichomirova_ei@mail.ru

The paper presents the results of innovative design development for multicomponent adsorption filters with sliding cartridges or with a metal-graphite electrode system. The proposed filters allow providing water purification by 98–99% simultaneously from various polluting organic substances, including polycyclic aromatic hydrocarbons. The filtering media of these filters include bentonite modified by various methods. To study the effectiveness of adsorption filters as a rapid method, qualitative spot test analysis (*sensu* Feigl) was used. To control the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in aqueous media and to ensure effective sewage treatment of natural contaminated waters, a luminescent solid-substrate method was applied. This method permits combining the preceding sorption concentration of substances on a cellulose matrix, modified with a surfactant, and analyzing directly in the solid phase of the sorbent. Optimal characteristics of luminescent control of ecotoxicant content before and after water purification were determined. Laboratory studies on water treatment efficiency using multicomponent adsorption filter with retractable cartridges of a model solution including a complex of polluting organic substances (pyrene, chrysene, benzpyrene, resorcinol) allowed identifying optimal filtering media represented by activated silica gel; bentonite, modified with carbon nanotubes and glycerol after heat treatment at 650 °C; bentonite after heat treatment at 650 °C; bentonite, modified with carbon nanotubes after heat treatment at 550 °C. Laboratory studies of water purification efficiency by multicomponent adsorption filter with metallographic electrode system of a model solution, including pyrene, chrysene, benzpyrene, resorcinol, m-aminophenol, o-toluidine, permitted to identify the most efficient filtering media comprising of synthetic zeolite; bentonite modified with carbon nanotubes and glycerol after heat treatment at 550 °C with a gradual temperature increase; organobentonite; bentonite modified with carbon nanotubes and glycerol after heat treatment at 550 °C; activated silica gel; bentonite after heat treatment at 800 °C. The proposed effective sorption water purification systems based on a multicomponent filtering media with luminescent control of ecotoxicant content in resulting solution can be recommended for successful introduction at industrial enterprises, producing wastewaters, as well as at water treatment plants.

Keywords: water quality control, water treatment, luminescent analysis, solid-substrate luminescence, adsorption filter, filtering media.

УДК 628.16: 628.316; 543.426: 502.55

Использование многокомпонентных адсорбционных фильтров в системах очистки воды и люминесцентный контроль содержания экотоксикантов

© 2019. Е. И. Тихомирова¹, д. б. н., профессор, зав. кафедрой,

О. А. Плотникова¹, к. б. н., доцент, О. В. Атаманова¹, д. т. н., профессор,

М. В. Истрашкина¹, аспирант, А. В. Кошелев¹, к. т. н., с. н. с.,

А. Л. Подольский^{1, 2}, PhD по зоологии и экологии, профессор,

¹Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77,

²Государственный университет Северной Каролины (США),
27695, США, Северная Каролина, Уэйк-Каунти, г. Роли, п/я 7313,

e-mail: tichomirova_ei@mail.ru

В работе представлены результаты разработок инновационных конструкций многокомпонентных адсорбционных фильтров: с выдвижными кассетами; с металлографитной электродной системой. Предложенные фильтры позволяют обеспечить очистку воды на 98–99% одновременно от различных загрязняющих органических веществ, в том числе полициклических ароматических углеводородов. В состав фильтрующих загрузок этих фильтров входит бентонит, модифицированный разными способами. Обоснован выбор наиболее эффективных фильтрующих загрузок для разработанных адсорбционных фильтров. Для оценки эффективности адсорбционных фильтров в качестве экспресс-метода использовали качественные капельные реакции по Файглю.

Для контроля содержания полициклических ароматических углеводородов в водных средах и обеспечения эффективной очистки сточных или природных загрязнённых вод использовали люминесцентный твёрдофазный метод, который позволяет сочетать предварительное сорбционное концентрирование веществ на модифицированной поверхностно-активным веществом целлюлозной матрице и анализ непосредственно в твёрдой фазе сорбента. Определены оптимальные характеристики люминесцентного контроля содержания экотоксикантов до и после очистки воды.

Предложенные эффективные системы сорбционной очистки воды на основе многокомпонентных фильтрующих загрузок с люминесцентным контролем содержания экотоксикантов в воде могут быть рекомендованы для внедрения на промышленных предприятиях, являющихся источником образования сточных вод, а также на станциях водоподготовки и очистки воды от комплекса органических загрязнителей.

Ключевые слова: контроль качества воды, водоочистка, люминесцентный анализ, твёрдофазная люминесценция, адсорбционный фильтр, фильтрующая загрузка.

At the present stage of implementing the Federal Target Program “Development of the Water Management Complex in the Russian Federation during 2012–2020”, the main strategic tool is aimed to ensure sustainable development and environmentally safe operation of the water sector. The Government of the Russian Federation assigns to the priority tasks of water sector development the construction and reconstruction of sewage treatment plants complexes in many cities, including Moscow, St. Petersburg, Rostov-on-Don, Yekaterinburg, Ufa, Lipetsk, Petrozavodsk, Nizhny Novgorod, and others. In August 2017, within the framework of the Russian Federation Strategic Development Direction “Ecology”, the priority project “Preservation and Pollution Prevention of the Volga River” was launched. In this regard, ensuring quality water purification in both water supply and sanitation systems is one of the most urgent tasks of our time [1]. However, the solution of this problem is impossible without the establishment of permissible impact on water bodies [2]. Control and management of water quality in water bodies plays an important role due to exceptional importance of water in persistence of both aquatic and terrestrial ecosystems [3].

Providing the required quality of drinking water as well as water for residential use, and compliance with sanitary and environmental quality standards for wastewaters requires monitoring and quality control of water both in water supply sources and at wastewater treatment facilities. Increasing the monitoring quality of water bodies for maintaining proper levels of public health is facilitated by creating new effective technologies for water quality control.

The article is devoted to the problems of water purification and to development of novel technologies for water quality control.

Pollution adversely affects the natural sources of fresh water, which in turn has a negative impact on human health. Water supply presumes mandatory additional water treatment, which can be conducted both at municipal wastewater treatment plants and in residential water treatment systems. Implementation of sewage treatment at various enterprises before discharging wastewaters into sewers or natural water bodies is no less important [1].

Contemporary industrial enterprises do not always provide high-quality cleaning of their wastewaters. Chemical and coke plants; fuel, energy, automotive and other industrial enterprises are potential sources of toxic liquid waste. Particular attention should be paid to aromatic compounds with carcinogenic properties in sewage waters of such enterprises (benzene, its homologs and derivatives, phenols, etc.). For example, there are many phenolic compounds in the effluent of coke plants. Groundwater and surface waters are often contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) due to sewage sludge. Phenolic compounds in general represent a large group of xenobiotics of anthropogenic origin.

Complex composition wastewater treatment is particularly problematic, because number of pollutants is large enough, and it is necessary to provide comprehensive water purification from numerous chemical compounds. It is crucial to identify the composition of all pollutants in the water body, which is not possible without using innovative methods for water quality monitoring.

Currently, there are many methods used for cleaning sewage and contaminated surface waters. All of those have their own characteristics and, depending on the stage of implementation, refer to mechanical, physicochemical, biological, or disinfection methods of waters to be treated.

In connection with circulating water systems, we should note the increases in using physical and chemical methods of sewage treatment, represented by flotation, adsorption, centrifugation, ion exchange and electrochemical treatment, along with hyper filtration, neutralization, extraction, reduction, evaporation, and crystallization.

Adsorption methods have a number of advantages over other existing methods of water purification [2]. The main advantages of these methods include simplicity of technological design, ability to extract heavy metals, PAHs, aromatics and other organic ingredients, including biologically stable substances, which cannot be removed by other methods from polluted waters. Another significant advantage of adsorption techniques is the absence of secondary contaminants.

However, the choice of cleaning method and water quality control requires conducting water analyses. The required stage of water analysis includes determination concentrations of particularly dangerous highly toxic substances, which can potentially cause considerable damage to human health. PAHs occupy one of the leading positions in the list of priority pollutants. Control of PAHs content in various environmental objects is mandatory. Most PAHs are carcinogenic and mutagenic substances that can accumulate in the organisms and pose a hazard even at trace concentrations in the environment [3, 4]. Standard procedures for determination of PAHs in environmental objects are based mainly on chromatographic methods with various detectors [5, 6]. Although the analytical effectiveness of these methods is widely recognized, the PAHs analysis in this case is characterized as laborious, relatively expensive and time-consuming process. For these reasons, it is of great interest to develop simpler and more sensitive methods for the detection and determination of PAHs. Luminescent methods are especially prospective for these purposes [7].

The goal of this study involved determining the optimum characteristics of a luminescent solid-substrate method for monitoring PAHs content in aqueous media to ensure effective purification and quality control of wastewaters and natural waters, as well as development of

new technologies for adsorption water treatment from complex composition based on the use of modified bentonites.

Research Methods

Methods for Water Quality Control

We selected the luminescent assay as priority pollution control technique for ecotoxicants in the water. Luminescent methods have a number of advantages for determining the PAHs in aqueous media. First, many of the PAHs representatives are capable of fluorescing, and therefore the use of luminescent methods allows obtaining the best results of the analysis. Secondly, it is well known that these methods are among the most sensitive methods of analysis, which is especially important for identifying trace concentrations of substances in environmental objects.

However, it should be taken into account that the luminescence spectra of the solutions of most organic substances are represented by broad, blurry bands. It is possible to simplify the identification of pollutants via significant narrowing of the spectrum bands, which can be achieved either by significant decrease in temperatures [8] or by using water-micellar solutions [9].

Another effective method for improving the characteristics of radiative processes in molecules is immobilization of a luminophore on a solid substrate [10–13]. This phenomenon is based on the method of solid-substrate luminescence (SSL), which enables combining preceding sorption concentrating and analysis of substances directly in the sorbent phase. Sorption of luminophores is carried out on various luminescent matrices, the most common of which is cellulose matrix [14, 15]. It is well known that signal intensity of SSL luminophores on the cellulose matrix is dependent on the presence of various substances: alkalis, salts, and surfactants. They can significantly reduce or increase the intensity of luminescence. On the basis of luminescent methods, the development of sensors and screening systems for water quality control is conducted [12, 16–18].

Hence, we used the SSL method with analytical signal registration on modified cellulose matrix as the basis for original effective and highly sensitive technique of determining the PAHs.

We took Fluka-manufactured Purum brand pyrene, the least toxic PAHs, as a model compound for our experimental study. The fluorescence spectrum of pyrene was observed in the wavelength range 360–400 nm. As the

matrix modifying agent, a cationic surfactant, cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) was used. We used cellulose matrix of Red Tape brand for sorption concentrating (solid phase extraction) and applied luminescence research. Sorption of PAHs was carried out dynamically. With this goal in mind, the solution was filtered for 30 min through a sorbent layer in a plastic cartridge. Then the sorbent was dried for 15 minutes at a temperature of 80 °C. PAHs luminescence spectra were recorded on a Perkin-Elmer fluorescence spectrometer LS 55.

Methods for Studying the Effectiveness of Adsorption Systems for Water Purification

Use of various adsorption filters is at the heart of proposed new technologies for sewage and contaminated water treatment.

To investigate the effectiveness of adsorption filters as a rapid method, we used spot test analysis, represented by qualitative chemical reactions. Regarding organic substances, this group of analytical methods was described in detail and systematized by the Austrian chemist F. Feigl [19]. The general principle of spot test reactions is the mixing of a test solution droplet with a drop of a reagent, or several reagents.

In our study we filtered the contaminated solution of a predetermined concentration through the sorbent layer. We sampled the filtrate in small identical portions and conducted the qualitative reactions for the substance in the filtrate until the break point. As a break point, we considered the lower limit of the technique sensitivity, i.e. the amount of polluting substance, at which the reaction turned out to be positive. The most effective was the variant of a sorbent filter loading, at which the break point occurred at the largest volume of the treated solution.

We investigated the efficiencies of the following sorbents:

- No. 1: organobentonite TU 952752-2000, a product of the interaction of montmorillonite clays with quaternary ammonium salts;
- No. 2: bentonite, modified by heat treatment at 650 °C;
- No. 3: bentonite, modified by heat treatment at 800 °C;
- No. 4: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and acute heat treatment at 650 °C;
- No. 5: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and gradual heat treatment at 650 °C;
- No. 6: bentonite, modified with glycerol and heat treatment at 650 °C;
- No. 7: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and acute heat treatment at 650 °C;
- No. 8: bentonite, modified with heat treatment at 550 °C;
- No. 9: bentonite, modified with carbon nanotubes and heat treatment at 550 °C;
- No. 10: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and gradual heat treatment at 550 °C;
- No. 11: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and acute heat treatment at 550 °C;
- No. 12: bentonite, modified with carbon nanotubes, glycerol and heat treatment at 600 °C;
- No. 13: activated silica gel (ASKG);
- No. 14: synthetic zeolite;
- No. 15: peat.

The above sorbents were chosen as the filter loading variants of tested sorption filters (Table).

Findings

Results of Studies on Luminescent Method of Water Quality Control

In the course of our experimental studies on the development of an effective method of water

Table

Characteristics of a complex sorbent

No. of a filter loading option	Top-down sequence of components included in the filter loading option
1	No. 14, 1, 2, 6
2	No. 15, 14, 1, 2, 6
3	No. 13, 4, 2, 9
4	No. 3, 4, 8, 6
5	No. 9, 4, 8, 6
6	No. 14, 10, 1, 11, 13, 3
7	No. 8, 12, 2, 5

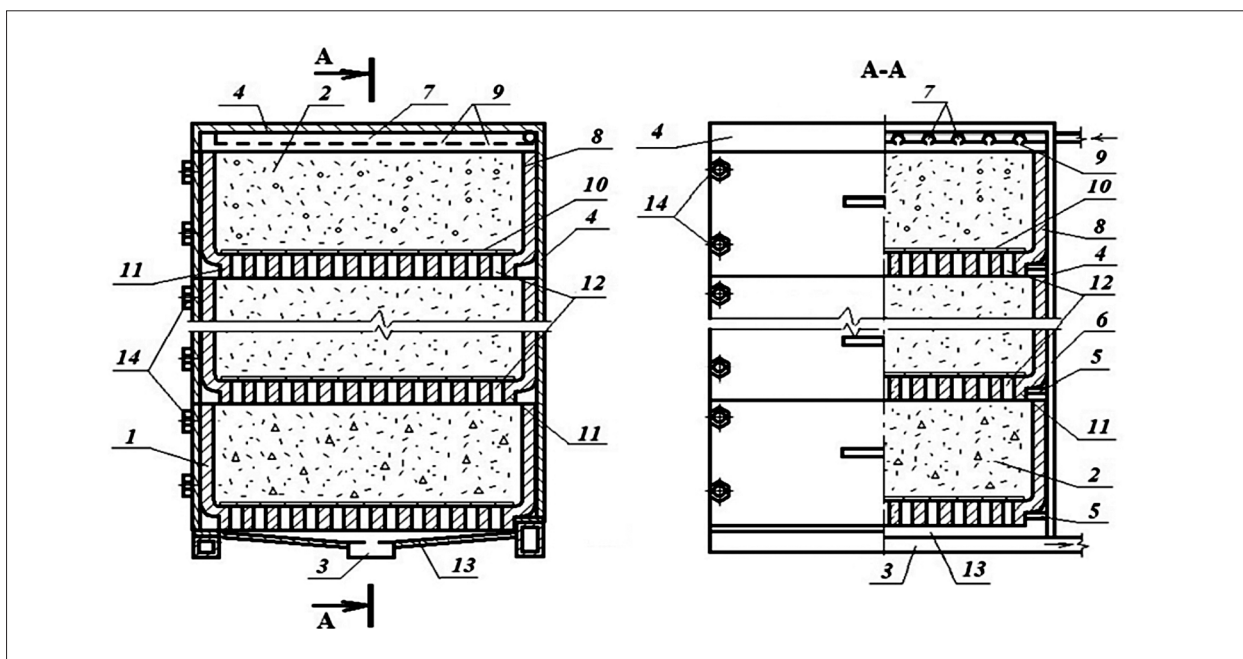


Fig. 1. Multicomponent adsorption filter with retractable cartridges: 1 – cartridges; 2 – sorbents; 3 and 12 – short pipes; 4 – filter housing; 5 – guides; 6 – walls; 7 – tubes; 8 – upper cartridge; 9 – holes; 10 – mesh; 11 – switchgear; 13 – gutter; 14 – screws

quality control for the content of ecotoxicants, we selected optimal characteristics of the luminescent determination of PAHs on a cellulose matrix.

We established that fluorescence intensity of pyrene, the PAHs representative, on the matrix is higher than in the aqueous solution, from which its sorption was conducted. We explain this finding by mobility loss of pyrene molecules during the sorption and by increase in the probability of radiative luminescent transitions (fluorescence) from the first singlet excited state to the ground state.

However, we discovered that an efficiency of sorption by a hydrophilic matrix of hydrophobic PAHs is not high enough. It can be increased by modifying the surface of the matrix with surfactants. It is known that water-micellar solutions in luminescent assay are widely used [9]. However, there are only a few studies, in which surfactants were used to observe luminescence on solid matrices [17]. We have experimentally confirmed that pyrene sorption from water-micellar solutions of surfactants, contributed to concentrating of PAHs in the surface layer of the sorbent. Such modification of the matrix surface allows improving analytical characteristics of the method.

The fluorescence spectra of pyrene on a surfactant- modified cellulose matrix were analyzed. Linear dependences of pyrene fluorescence intensity on surfactant concentrations in the

solution were constructed. It was found that maximum fluorescence signal of pyrene on a solid matrix was observed at concentrations of the cationic surfactant CTAB near the critical concentration of micelle formation ($9.5 \cdot 10^{-4}$ M). Limit of pyrene fluorescent detection on the modified cellulose matrix is 4.9 ng/ml.

Novel technologies of water purification and their efficiencies

We developed the design of multicomponent adsorption filter with retractable cartridges for purification of natural polluted waters along with wastewaters with complex contamination (Fig. 1) [20]. The technological process of water treatment is as follows. Water to be treated enters evenly through the holes 9 in the tubes into the upper cartridge, which ensures full operation of the sorbents over the entire area of the cartridges. Passing through the sorbent layer in the upper cartridge, water flows through the mesh at the bottom of the upper cartridge and then through the short pipes 12 of the switchgear into the lower cartridge (Fig. 1). After passing successively through all layers of sorbents placed in the cartridges, purified water is fed to the gutter, and then is supplied to consumers. In the course of filter operation, cartridges with sorbents are inserted all the way into the housing and tightly fastened with screws, which minimizes losses of treated water and increases reliability of the structure.

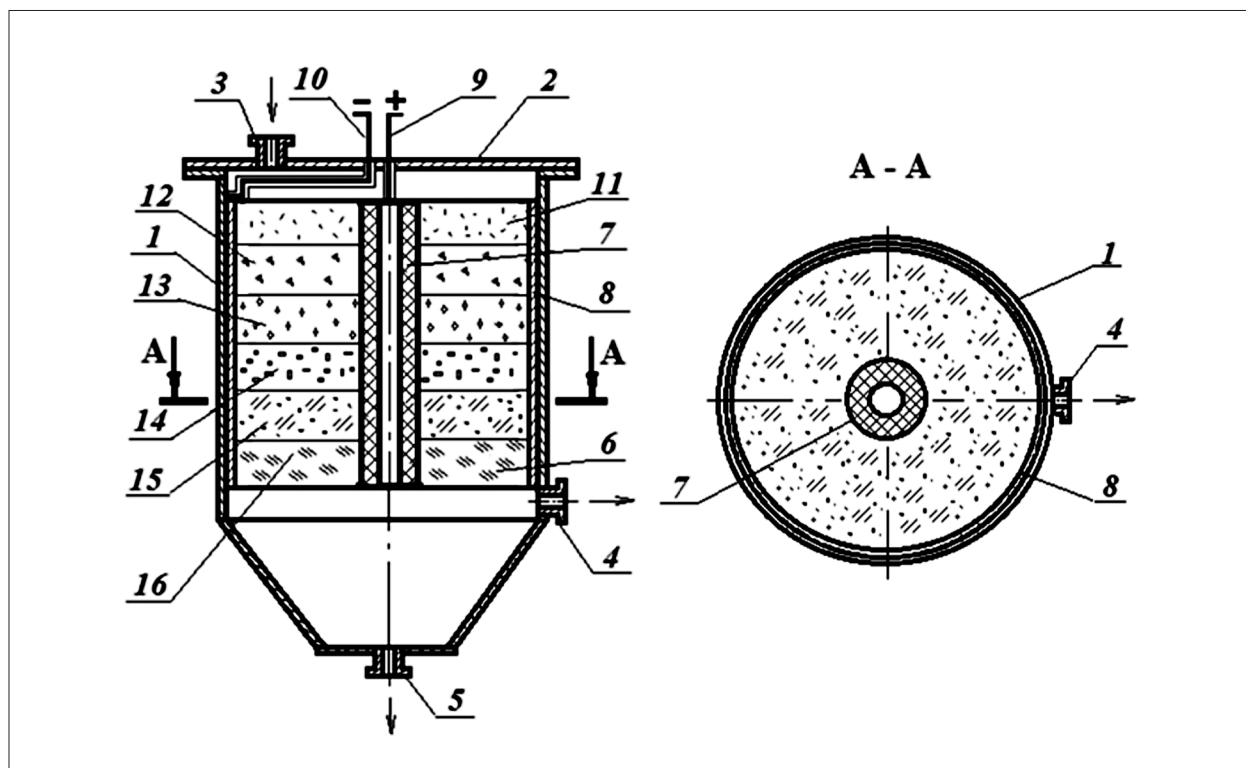


Fig. 2. Multicomponent adsorption filter with metal-graphite electrode system: 1 – filter housing; 2 – cover; 3, 4, 5 – short pipes; 6 – sorbent; 7 – metal-graphite electrode; 8 – steel electrode; 9 – cathode; 10 – anode; 11–16 – layers of a filter loading

Each filter cartridge contains a specific sorbent designed for some particular pollutant, which ensures high quality treatment of natural contaminated and sewage waters of complex composition, including various chemical compounds, such as PAHs.

To improve the adsorption effect, we developed another design of multicomponent adsorption filter, the principal feature of which was the impact of direct electric current system on the sorption (Fig. 2) [21]. The technology of water purification with a multicomponent adsorption filter is as follows.

Water under treatment enters through the auxiliary short pipe 3 into the housing to filter loading and is filtered top to bottom towards short pipe 4. The sorbent located in the electric field between electrodes 7 and 8 is polarized, resulting in polarization of colloidal particles of contaminated water to be filtered. Mutual polarization of the sorbent granules and colloidal particles contributes to high effective adsorption of pollutant ions on the surface of the sorbent granules. Sorbent regeneration is provided by reverse water current. At that time, the voltage on the electrodes is switched off, the auxiliary short pipe 4 is closed, while the auxiliary short pipe 5 is open, and then clean water is fed through the short pipe 3.

Effectiveness of multicomponent adsorption filter with four retractable cartridges was tested on the model solution containing a complex of polluting organic substances (pyrene, chrysene, benzopyrene and resorcinol), allowed identifying the most effective filter loading, providing 98.9% extraction of the pollutants from water. Based on the results of our study, we constructed a diagram presented at Figure 3. It reflects comparison of the efficiencies in five variants of a filter loading.

The adsorption filter, which showed itself most effectively for the model solution, included the loading comprising of ASKG silica gel; bentonite modified with carbon nanotubes and glycerol and heat treatment at 650 °C; bentonite modified with heat treatment at 650 °C; bentonite modified with carbon nanotubes and heat treatment at 550 °C.

Effectiveness of multicomponent adsorption filter with metal-graphite electrode system was tested on the model solution containing a complex of polluting organic substances (pyrene, chrysene, benzopyrene, resorcinol, m-aminophenol and o-toluidine), allowed identifying the most effective filter loading, providing 98.7% extraction of the pollutants from water. Based on the results of our study, we constructed a dia-

gram presented at Figure 4. It reflects comparison of the efficiencies in seven variants of a filter loading. The adsorption filter, which showed itself most effectively for the model solution, included the loading comprising of synthetic zeolite; bentonite modified with carbon nanotubes, glycerol and gradual heat treatment at 550 °C; organobentonite TU 952752-2000; bentonite modified with carbon nanotubes, glycerol and heat treatment at 550 °C; ASKG silica gel; and bentonite modified with heat treatment at 800 °C.

Conclusion

Sorption concentrating in combination with the measurement of an analytical signal on the surface of a sorbent allows reducing the detection

limit of polluting components by several orders of magnitude. Using the sorbent modified with the surfactant allows increasing the effectiveness of concentrating the pollutants on the sorbent and sensitivity of the method. It has been experimentally established that the sorption of luminophores on a cellulose matrix modified by micellar nanosystems causes a significant increase in fluorescence signal intensity. Optimal characteristics of a luminescent solid-substrate method for controlling PAHs content in aqueous media are optimally chosen to ensure purification and quality control of sewage or natural waters.

However, it should be noted that it is necessary to take into account possible composition of analyzed waters while using our original highly

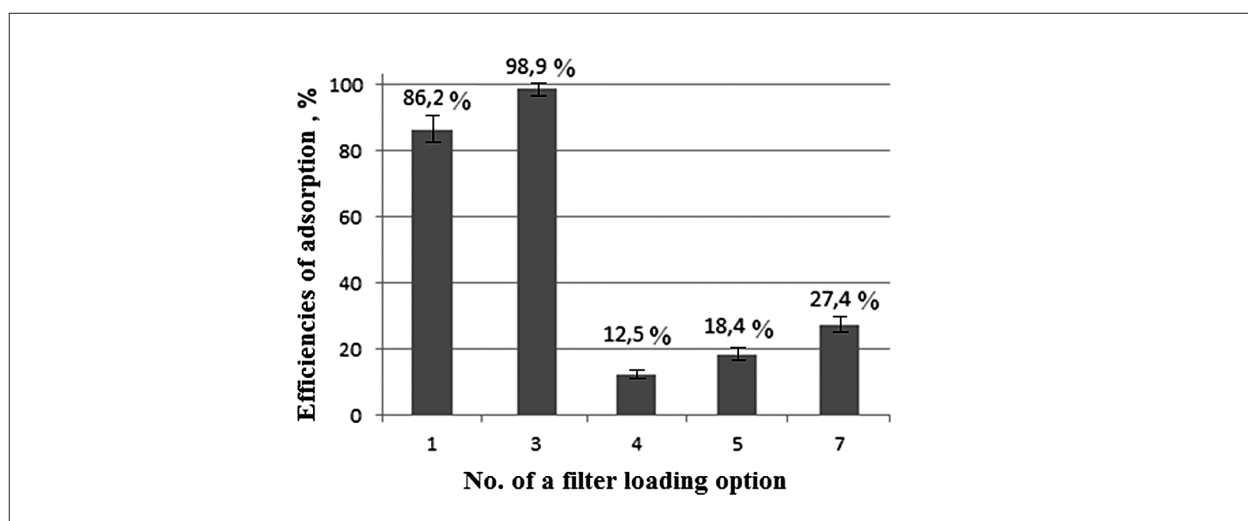


Fig. 3. Efficiencies of multicomponent adsorption filter with retractable cartridges towards the model solution

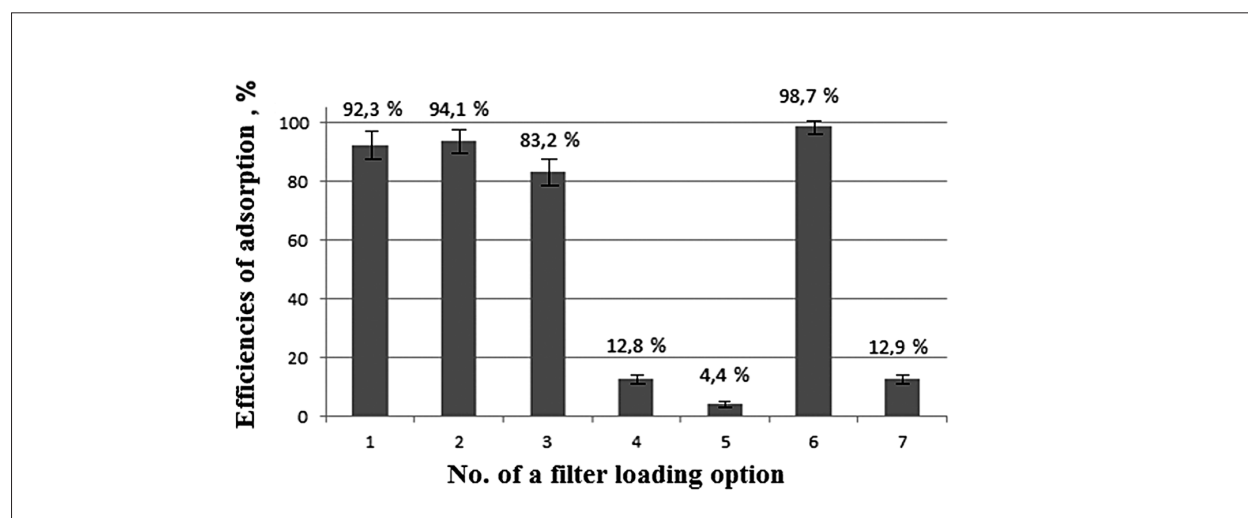


Fig. 4. Efficiencies of multicomponent adsorption filter with metal-graphite electrode system towards the model solution

sensitive luminescent assay, because presence of interfering components (for example, heavy metals) may affect the results of luminescence analysis. In some cases of analyzing highly contaminated water, it is recommended to conduct a routine stage of sample preparation, including preliminary separation of the components and cleaning of the sample. Our future study will be devoted to the development of a solid-substrate luminescent method for determination of heavy metals and their concentrations in polluted aqueous media.

We developed innovative designs of multicomponent adsorption filters for water purification from complex organic [20, 21], allowing to provide a comprehensive treatment of wastewater contaminated with complex organic compounds.

The expediency of using the proposed multicomponent adsorption filters is confirmed by the results of our laboratory studies on their adsorption efficiency towards a complex of organic compounds.

Adsorption efficiency of a multicomponent adsorption filter with retractable cartridges towards a model solution of organic compounds (pyrene, chrysene, benzopyrene and resorcinol) was 98.9% in the case of a complex filter loading comprising of ASKG silica gel; bentonite modified with carbon nanotubes, glycerol and heat treatment at 650 °C; bentonite modified with heat treatment at 650 °C; bentonite modified with carbon nanotubes and heat treatment at 550 °C.

Adsorption efficiency of a multicomponent adsorption filter with metal-graphite electrode system towards the model solution containing pyrene, chrysene, benzopyrene, resorcinol, m-aminophenol, o-toluidine was 98.7% in the case of an integrated filter media comprised of synthetic zeolite; bentonite modified with carbon nanotubes, glycerol and gradual heat treatment at 550 °C; organobentonite TU 952752-2000; bentonite modified with carbon nanotubes, glycerol and heat treatment at 550 °C; ASKG silica gel; and bentonite modified with heat treatment at 800 °C.

Therefore, we can conclude that our proposed original effective sorption system for water treatment, based on a multicomponent filter loading with luminescent control of ecotoxicant water content can be successfully recommended for implementation at industrial plants producing wastewaters, as well as at water treatment and purification stations.

The results were obtained in the framework of implementing Federal grant No. 5.3922.2017/64 of the Russian Ministry of Education.

References

1. Spellman F.R. Handbook of water and wastewater treatment plant operations. 3-rd Ed. CRC Press, 2014. 904 p.
2. Bonilla-Petriciolet A., Mendoza-Castillo D.I., Reynel-Avila H.E. Adsorption processes for water treatment and purification. Springer, 2017. 256 p.
3. Skupinska K., Misiewicz I., Kasprzycka-Guttman T. Polycyclic aromatic hydrocarbons: physicochemical properties, environmental appearance and impact on living organisms // Acta Pol. Pharm. 2004. V. 61. No. 3. P. 233–240.
4. Abdel-Shafy H.I., Mansour M.-S.M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation // Egyptian Journal of Petroleum. 2016. V. 25. P. 107–123. doi: 10.1016/j.ejpe. 2015.03.011.
5. Wise S.A., Sander L.C., Schantz M.M. Analytical methods for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – A historical perspective on the 16 U.S. EPA priority pollutant PAHs // Polycyclic aromatic compounds. 2015. V. 35. P. 187–247. doi: 10.1080/10406638.2014.970291.
6. Poster D.L., Schantz M.M., Sander L.C., Wise S.A. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental samples: A critical review of gas chromatographic (GC) methods // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006. V. 386. P. 859–881. doi: 10.1007/s00216-006-0771-0.
7. Morales T.V., Esponda S.M., Rodríguez J.J.S., Aaron S.E., Aaron J.J. Luminescence methods for study and determination of pollutants in the environment // Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2010. V. 29. P. 1–42.
8. Wang H., Campiglia A.D. Direct determination of benzo[a]pyrene in water samples by a gold nanoparticle-based solid phase extraction method and laser-excited time-resolved Shpol'skii spectrometry // Talanta. 2010. V. 83. P. 233–240. doi: 10.1016/j.talanta.2010.09.013.
9. Rodríguez S.J.J., Halko R., Rodríguez B.J.R., Aaron J.J. Environmental analysis based on luminescence in organized supramolecular systems // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006. V. 385. No. 3. P. 525–545. doi: 10.1007/s00216-006-0342-4.
10. Bortolato S.A., Arancibia J.A., Escandar G.M. A novel application of nylon membranes to the luminescent determination of benzo[a]pyrene at ultra trace levels in water samples // Analytica Chimica Acta. 2008. V. 613. P. 218–227. doi: 10.1016/j.aca.2008.03.004.
11. Whitcomb J.L., Campiglia A.D. Screening potential of solid-phase extraction and solid surface room temperature fluorimetry for polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples // Talanta. 2001. V. 55. P. 509–518.
12. Whitcomb J.L., Bystol A.J., Campiglia A.D. Time-resolved laser-induced fluorimetry for screening

polycyclic aromatic hydrocarbons on solid-phase extraction membranes // *Analytica Chimica Acta*. 2002. V. 464. P. 261–272. doi: 10.1016/S0003-2670(02)00425-7.

13. Dmitrienko S.G., Gurariy E.Y., Nosov R.E., Zolotov Y.A. Solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous samples using polyurethane foams in connection with solid-matrix spectrofluorimetry // *Analytical Letters*. 2001. V. 34. P. 425–438. doi: 10.1081/AL-100102584.

14. Ackerman A.H., Hurtubise R.J. Methods for coating filter paper for solid-phase microextraction with luminescence detection and characterization of the coated filter paper by infrared spectrometry // *Analytica Chimica Acta*. 2002. V. 474. No. 1–2. P. 77–89. doi: 10.1016/S0003-2670(02)01002-4.

15. Hurtubise R.J., Thompson A.L., Hubbard S.E. Solid-phase room-temperature phosphorescence // *Analytical Letters*. 2005. V. 38. P. 1823–1845. doi: 10.1080/00032710500230822.

16. Fernández-Sánchez J.F., Carretero A.S., Cruces-Blanco C., Fernández-Gutiérrez A. Highly sensitive and selective fluorescence optosensor to detect and quantify benzo[a]pyrene in water samples // *Analytica Chimica Acta*. 2004. V. 506. P. 1–7. doi: 10.1016/j.aca.2003.11.002.

17. Delgado B., Pino V., Ayala J.H., Gonzalez V., Afonso A.M. Coupling micelle-mediated extraction using mixtures of surfactants and fluorescence measurements with a fiber-optic for the screening of PAHs in seawater // *Analyst*. 2005. V. 130. P. 571–577. doi: 10.1039/b415125a.

18. Fernández-Sánchez J.F., Carretero A.S., Cruces-Blanco C. The development of solid-surface fluorescence characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons for potential screening tests in environmental samples // *Talanta*. 2003. V. 60. P. 287–293. doi: 10.1016/S0039-9140(03)00100-0.

19. Feigl F. *Spot Tests in Organic Analysis*. 7th ed. Elsevier, Amsterdam – New York: Elsevier Publishing Company, 1966. 675 p.

20. Atamanova O.V., Kosarev A.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Sorption filter // Patent for utility model RF 174230 IPC C02F 1/28; B01D 24/14. Application: 2017115281/28.04.2017. Date of publication: 10.09.2017. Bull. 28. 6 p. (in Russian).

21. Atamanova O.V., Kosarev A.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Sorption filter // Patent for utility model RF 169004 IPC B01D 25/00; C02F 1/46. Application: 2016141893/25.10.2016. Date of publication: 01.03.2017. Bull. 7. 2 p. (in Russian).

Разработка и оптимизация способа биологической очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота в условиях Арктики

© 2019. Л. А. Иванова², д. б. н., в. н. с., В. А. Мязин^{1,3}, к. б. н., с. н. с., М. В. Корнейкова¹, к. б. н., с. н. с., Н. В. Фокина¹, к. б. н., с. н. с., В. В. Редкина¹, к. б. н., ведущий инженер, Г. А. Евдокимова¹, д. б. н.,

¹Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», 184209, Россия, г. Апатиты, Академгородок, 14 а,

²Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН, 184209, Россия, г. Апатиты, Академгородок, 18 а,

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 197110, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18, e-mail: myazinv@mail.ru

Представлена новая концепция биоремедиации антропогенных водных объектов, а также очистки сточных карьерных вод методом фитоэкстракции и фитотрансформации в арктических условиях, основанная на технологии преобразования техногенных водоёмов в природоподобные болотные экосистемы. Технология базируется на создании фитоматов, позволяющих в ускоренном режиме формировать растительные блоки трёх разных типов: для задержания песчано-гравийных участков (откосы фильтрационных дамб и др.), для создания растительных сообществ на мелководных участках водоёмов и для создания сообществ на глубоководных участках. При формировании фитоматов используются два субстрата-почвозаменителя и регионально-оптимизированный ассортимент из 24 видов растений. Определение содержания нитрат-ионов в некоторых растениях биоценоза (*Comarum palustre* L., *Eryophorum angustifolium* Honck., *Salix phylicifolia* L.) показало их преимущественное накопление в корнях. Предлагаемый подход к формированию природоподобных болотных экосистем для очистки сточных карьерных вод впервые осуществлён в практике действующих горнорудных предприятий в экстремальных условиях Субарктики. Внедрение данной технологии позволило на 22% повысить эффективность очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота, не требуя при этом затрат энергии, химикатов и дефицитных в регионе почвенных ресурсов.

Ключевые слова: фиторемедиация, сточные карьерные воды, пруд-отстойник, минеральные соединения азота, фитоценоз, фитоматы.

Development and optimization of biological treatment of quarry waters from mineral nitrogen in the Arctic

© 2019. L. A. Ivanova² ORCID: 0000-0002-7994-5431, V. A. Myazin^{1,3} ORCID: 0000-0002-4155-3416, M. V. Korneykova¹ ORCID: 0000-0002-6167-1567, N. V. Fokina¹ ORCID: 0000-0002-2936-5252, V. V. Redkina¹ ORCID: 0000-0002-4908-5098, G. A. Evdokimova¹ ORCID: 0000-0003-0524-9748,

¹Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of Russian Academy of Science”, 14A, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209,

²Polar Alpine Botanical Garden and Institute of Kola Science Centre of Russian Academy of Science, 18A, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209,

³Institute of Russian Academy of Science “Saint-Petersburg Scientific-Research Centre of Ecological Safety”, 18, Korpusnaya St., Saint-Petersburg, Russia, 197110, e-mail: myazinv@mail.ru

The new concept of bioremediation of anthropogenic water bodies and quarry wastewaters treatment by phyto-extraction and phytotransformation in the Arctic conditions is presented. This technology is based on transforming the man-caused water reservoirs into nature-like marsh ecosystems. At the first stage, a new patented method for advanced waste treatment using floating bioplato was developed and implemented. After implementing the bioplato, the concentration of ammonium ions in water decreased by 53–90%, nitrate nitrogen reduced by 15–20%. At the second stage, the floating bioplato technology was modified into the highly efficient purifying marsh ecosystem, which allowed to cover the waterbody territory to the greatest possible extent. The technology is based on the creation of phytomats enabling in the accelerated mode to form plant blocks of three different types. They are aimed both at local grassing down, and at swamping deep and shallow areas of sediment ponds. In forming phytomats, two soil substitutional substrates (thermovermiculite, wood sawdust) and regionally-optimized assortment of 24 plant species are used. The proposed technology does not require energy, chemicals and soil components which are scarce in the region. The predominance of natural ecosystem processes in the formed phytocenoses allows to achieve maximum efficiency, and the use of available materials contributes to minimizing the costs of creating and maintaining the system. The introduction of this technology and formation of the artificial phytocenosis with the area of about 30% of the man-caused reservoirs territory made it possible to increase the efficiency of wastewater treating from mineral nitrogen compounds by 22%.

Keywords: phytoremediation, sewage quarry, sediment pond, mineral nitrogen compounds, phytocenosis, phytomats.

В настоящее время районы Крайнего Севера привлекают внимание большим ресурсным потенциалом. Это приводит к росту экологических проблем, связанных с уязвимостью северной природы, и необходимости решения одной из важнейших задач – очистке промышленных стоков горнодобывающих предприятий.

На сегодняшний день, наряду с физико-химическими и микробиологическими способами очистки карьерных вод от соединений азота [1–4], перспективными признаются методы, основанные на использовании естественных процессов, происходящих в ландшафтных и водных экосистемах [5–8]. Для реализации данных методов очистки создаются искусственные болотные экосистемы (constructed wetlands). Они способны к самоподдержанию протекающих в них процессов, надёжны и эффективны, не требуют затрат энергии и химикатов, не оказывают дополнительного негативного воздействия на окружающую среду [9–13].

Опыт применения этого метода в Швеции, Финляндии, Норвегии, Канаде и России показывает, что искусственно создаваемые заболоченные территории в качестве сооружений доочистки стоков являются эффективными даже при низких температурах [14–16]. Несмотря на это, создание и функционирование искусственных фитоочистных систем в условиях севера сопряжено с трудностями и требует индивидуального подхода.

Целью данной работы стала разработка и оптимизация биотехнологии доочистки сточных карьерных вод от соединений азота с использованием процессов фиторекультивации в природно-климатических условиях Мурманской области.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на пруду-отстойнике, собирающем сточные воды с обширной территории действующего железорудного карьера, расположенного в Мурманской области. Отстойник представляет собой копаный пруд, состоящий из двух секций, разделённых насыпной дамбой из песчано-гравийно-каменистого грунта.

Грунтовые и талые воды, а также осадки поступают в узел сбора стоков на дне карьера, откуда с помощью насосов по системе труб направляются в пруд-отстойник. В связи с использованием взрывчатых веществ в пруд-отстойник с карьерными водами ежемесячно поступает 5000–6000 кг нитратов, 30–50 кг нитритов и 60–80 кг аммонийного азота. В первой секции пруда происходит механическая очистка стоков. Доочистка карьерных вод от минеральных соединений азота методом фиторемедиации происходит во второй секции пруда-отстойника. Он имеет глубину не более 2 м и характеризуется часто меняющимся уровнем воды. Из него очищенная вода через коллектор поступает в природный водоток – ручей.

Растительность на прибрежной полосе вокруг водоёма занимает крайне незначительную часть поверхности. В пруду-отстойнике растительность представлена, в основном, прибрежно-водными сообществами гелофитов, с незначительным развитием прикреплённых и свободноплавающих моновидовых гигрофитных сообществ, погружённо-водные макрофиты отсутствуют.

Аналитическая работа выполнена в специализированных аккредитованных лабораториях Института проблем промышленной

экологии Севера (ФГБУН ИППЭС КНЦ РАН, г. Апатиты) и АО «Олкон» (г. Оленегорск). Показатели качества воды анализировались в соответствии с действующей нормативно-технической документацией.

Результаты и обсуждение

За период с 2012 по 2017 гг. выполнена серия лабораторных и полевых опытно-промышленных экспериментов по разработке фитосистемы для доочистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота. Исследования проводились в два этапа.

I этап. На этом этапе был разработан и внедрён новый запатентованный способ доочистки сточных карьерных вод с помощью плавающего биоплато [17]. Оно представляет собой плавающие кластеры из соединённых между собой каркасов с биологической загрузкой. В результате использования плавающего биоплато была показана их жизнеспособность и возможность поглощения соединений азота – в большей степени аммонийных и нитритных, в меньшей – нитратных форм (табл. 1).

Снижение содержания ионов аммония в воде II-ой секции отстойника до начала исследований составляло 15%. После внедрения биоплато их содержание уменьшилось на 53–90%. Концентрация нитратного азота в воде снижалась на 1,4%, а после формирования биоплато – на 15–20%.

II этап. Целью данного этапа стала модификация технологии плавающего биоплато в более эффективную фитоочистную болотную экосистему. В основу разработки легла технология создания фитоматов, что позволяет формировать растительные сообщества разного типа.

Фитомат представляет собой пластиковый сетчатый мешок размером 0,4 x 0,7 м,

заполненный 12,5 дм³ органо-минерально-растительной смеси, состоящей из древесных опилок и термовермикулита, взятых в соотношении 4:1 (по объёму), и 50 г травосмеси. В состав травосмеси входили семена трав, интенсивно растущих в условиях Мурманской области: пырей сизый, пырей ползучий, овсяница красная, тимофеевка луговая, волоснец песчаный, горец Вейриха, змеевик живородящий. Данная многокомпонентная смесь позволяет формировать фитоматы высотой до 10 см и площадью около 0,3 м² каждый, хранить готовые изделия в сухом состоянии в течение длительного времени и транспортировать на любые расстояния.

Для создания фитоматов применяли два вида субстратов-почвозаменителей – мелкофракционированный термовермикулит ковдорского месторождения, получаемый методом электрообжига, марки Випон-2 [18] и древесные опилки (свежие и подстилочные). Главное назначение фитоматов – формирование высококачественных искусственных фитоценозов, или растительных блоков трёх типов:

– *растительные блоки I типа* – для задернения песчано-гравийных участков и трансформации их в фитозаградительные барьеры. После того, как фитоматы постелены, их увлажняют из расчёта 5 л воды/1 ед. для запуска процесса прорастания семян. Начальное прорастание семян в открытом грунте происходит на 5–7-й день, а массовое – на 10–13-й день;

– *растительные блоки II типа* – для создания растительных сообществ на участках водоёмов с глубиной менее 0,5 м. Готовые фитоматы раскладывают группами, погружая их в воду частично или полностью. При благоприятной температуре появление массовых

Таблица 1 / Table 1
Содержание минеральных соединений азота в воде пруда-отстойника в 2013–2016 гг., мг/л
The content of mineral nitrogen compounds in the settling pond water in 2013–2016, mg/L

Дата Date	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻	
	I секция I section	коллектор collector	I секция I section	коллектор collector	I секция I section	коллектор collector
27.06.2013	1,29	1,10	155,3	153,1	0,73	0,17
09.10.2013	3,30	2,04	107,9	95,0	0,91	0,80
09.07.2014	1,51	0,38	138,5	127,3	0,63	0,57
02.10.2014	1,50	0,35	128,6	109,7	0,36	0,14
01.07.2015	4,20	0,45	168,2	157,4	0,67	0,55
09.10.2015	2,81	0,63	241,1	230,1	0,71	0,40
29.06.2016	10,47	6,87	145,1	161,2	0,81	0,69
19.09.2016	9,30	6,90	214,6	165,4	1,00	1,10

Таблица 2 / Table 2

Содержание нитратов в сточной карьерной воде (2017 г.), мг/л
Nitrate content in waste water in 2017, mg/L

Место отбора проб Place of sampling	01.06	20.06	06.07	14.07	04.08	30.08	26.09
I секция / I section	90,51	112,5	100,3	100,7	124,1	112,1	125,5
II секция / II section	11,57	95,8	93,07	90,2	120	103,18	111,5
Коллектор / Collector	12,18	84,025	85,33	80,55	116	106,95	108,5
Природный водоток Natural stream	16,5	31,5	42,56	45,46	68,16	59,25	70,6

Таблица 3 / Table 3

Содержание нитратов в корнях растений, мг/кг / Nitrate content in plant roots, mg/kg

Вид растения Plant species	Содержание нитратов в корнях растений Nitrate content in plant roots	
	естественные биоценозы natural wetlands	биоплато constructed wetlands
<i>Comarum palustre</i> L.	67±12	196±25
<i>Eryophorum angustifolium</i> Honck	80±19	154±21
<i>Salix phylicifolia</i> L.	78±11	95±14

всходов отмечается на 7-й день с начала работ, после чего можно приступать к посадке различных видов гигрофитов и гидрофитов. В таких условиях подсаженные растения приживаются в течение 3–5 дней и быстро прорастают в грунтовую основу водоёма;

– *растительные блоки III типа* – для формирования сообществ на глубоководных (более 0,5 м) участках водоёмов. В данном случае фитоматы размещаются на плавающих конструкциях, обеспечивающих их удержание и полное или частичное погружение в воду. Примером такой конструкции может служить плавающее биоплато, использованное ранее в работе.

Эффективность доочистки карьерных вод в значительной степени зависит от правильного выбора видового состава растений, исключающего их межвидовую конкуренцию.

В качестве ценозообразователей использовали 24 вида сосудистых растений: рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), осоки (*Carex* sp.), пушица узколистная (*Eryophorum angustifolium* Honck), пушица Шейхера (*Eriophorum scheuchzeri* L.), вахта трёхлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), калужница болотная (*Caltha palustris* L.), хвощ топяной (*Equisetum fluviatile* L.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), ива филиколистная (*Salix phylicifolia* L.), ива козья (*Salix caprea* L.), сфагнум (*Sphagnum* sp.), ряска малая (*Lemna minor* L.), хвостник, или водяная сосенка (*Hippuris vulgaris* L.), лютик

ползучий (*Ranunculus repens* L.), пырей сизый (*Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), волоснец песчаный (*Leymus arenarius* L. Hochst.), горец Вейриха (*Polygonum weyrichii* Fr. Schmidt), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), горец живородящий (*Bistorta vivipara* (L.) Delarbre).

Оценка эффективности предлагаемой технологии

В ходе мониторинга содержания минеральных форм азота в воде пруда-отстойника после внедрения предлагаемой технологии были получены следующие результаты (табл. 2).

В период интенсивного снеготаяния наблюдалось снижение концентрации нитратов в воде в результате разбавления. В дальнейшем снижение концентрации нитрат-ионов было не столь значительным и составляло 10–25% от исходного уровня. В природном водотоке концентрация нитратов в июне-июле уменьшалась до значений, не превышающих или равных ПДК (45 мг/л), а в августе и сентябре превышала ПДК на 30–50%.

В среднем за период наблюдения концентрация нитратов в воде II секции составляла 85±15 мг/л, что превышает установленное значение ПДК в 2 раза. Концентрации ионов аммония и нитрит-ионов в воде II секции пруда-отстойника были ниже значений ПДК.

Изучение содержания нитрат-ионов в растениях выявило тенденцию к их накоплению

в корнях растений, произрастающих на био-
плато (табл. 3).

В целом за весь период проведения исследова-
ний эффективность очистки карьерных
вод увеличилась на 22%.

Заключение

В результате исследований разработана
научно-обоснованная малозатратная тех-
нология трансформирования техногенных
водоёмов в природоподобную болотную эко-
систему для доочистки сточных карьерных вод
от минеральных соединений азота.

В основе технологии заложено формиро-
вание фитоматов, позволяющих в ускоренном
режиме формировать разные комбинации
растительных блоков, аналогичных природ-
ному ландшафту для локального залужения
прибрежных территорий и заболачивания
водоёмов.

За весь период проведения исследований
эффективность очистки карьерных вод уве-
личилась на 22% при площади искусственно
сформированного фитоценоза около 30% от
площади техногенного водоёма.

Предлагаемый подход к формированию
природоподобных болотных экосистем для
очистки сточных карьерных вод впервые осу-
ществлён в практике действующих горноруд-
ных предприятий в экстремальных условиях
Арктической зоны Российской Федерации.

*Работа выполнена при финансовой и тех-
нической поддержке АО «Олкон» (Оленегорский
ГОК), г. Оленегорск в рамках договора № 27-3-
2012 от «01» октября 2012.*

Литература

1. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Во-
ронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод. М.:
Стройиздат, 1985. 335 с.
2. Вурдова Н.Г., Фомичев В.Т. Электролиз при-
родных и сточных вод. М.: Изд-во АСВ, 2001. 139 с.
3. Бирман Ю.А., Вурдова Н.Г. Инженерная защита
окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов.
М.: Изд-во АСВ, 2002. 296 с.
4. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды,
отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
5. Mattila K., Zaitsev G., Langwaldt J. Biological removal
of nutrients from mine waters (Biologinen ravinteiden poisto
kaivosvedesta). Final report – loppuraportti – Rovaniemi.
Finnish Forest Research Institute. 2007. 99 p.
6. Савичев О.Г. Биологическая очистка сточных вод
с использованием болотных биогеоценозов // Известия

Томского политехнического университета. 2008. № 1.
Т. 312. С. 69–74.

7. Нефедьева Е.Э., Сиволобова Н.О., Кравцов М.В.,
Шайхиев И.Г. Доочистка сточных вод с помощью фито-
ремедиации // Вестник технологического университета.
2017. № 10. Т. 20. С. 145–148.

8. Jin G., Kelley T., Freeman M., Callahan M. Removal
of N, P, BOD 5 and coliform in pilot-scale constructed wet-
land systems // International Journal of Phytoremediation.
2002. V. 4. No. 2. P. 127–141.

9. Ran N., Agami M., Oron G. A pilot study of con-
structed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for
treatment of domestic primary effluent in Israel // Water
Research. 2004. V. 38. No. 9. P. 2241–2248.

10. Stewart F.M., Mulholland T., Cunningham A.B.,
Kania B.G., Osterlund M.T. Floating islands as an alterna-
tive to constructed wetlands for treatment of excess nutrients
from agricultural and municipal wastes – results of laborato-
ry-scale tests // Land Contamination & Reclamation. 2008.
V. 16. No. 1. P. 25–33.

11. Vymazal J. Constructed wetlands for treatment of
industrial wastewaters: A review // Ecological Engineering.
2014. V. 73. P. 724–751.

12. Dong Qing Zhang, Jinadasa K.B.S.N., Gersberg R.M.,
Liu Y., Wun Jern Ng, Soon Keat Tan. Application of construct-
ed wetlands for wastewater treatment in developing countries.
A review of recent developments (2000–2013) // Journal En-
vironmental Management. 2014. V. 141. P. 116–131.

13. Miranda M.G., Galvan A., Romero L. Nitrate re-
moval efficiency with hydrophytes of Los Reyes Aztecas Lake
Water, México // Journal of Water Resource and Protection.
2014. V. 6. P. 945–950.

14. Janssen P.P., Maehlum T., Krogstad T. Potential
use of constructed wetlands for wastewater treatment in
northern environments // Water Science Techniques. 1993.
V. 28. P. 149–157.

15. Maehlum T., Janssen P.D., Warner W.S. Cold-
climate constructed wetlands // Water Science and Technol-
ogy. 1995. V. 32. No. 3. P. 95–101.

16. Nyquist J., Greger M. A field study of constructed
wetlands for preventing and treating acid mine drainage //
Ecological engineering. 2009. V. 35. P. 630–642.

17. Евдокимова Г.А., Иванова Л.А., Мязин В.А. Устрой-
ство для биологической очистки сточных карьерных вод //
Патент на изобретение № 2560631. Заявка № 2014122204,
30.05.2014. Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 22 июля 2015 г.

18. Иванова Л.А., Котельников В.А. Перспективы
гидропонного выращивания растений в Мурманской
области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. 106 с.

References

1. Yakovlev S.V., Karelin Ya.A., Laskov Yu.M., Vo-
ronov Yu.V. Industrial wastewater treatment. Moskva:
Stroyizdat, 1985. 335 p. (in Russian).

2. Vurdova N.G., Fomichev V.T. Electrodialysis of natural and waste water. Moskva: Izd-vo ASV, 2001. 139 p. (in Russian).
3. Birman Yu.A., Vurdova N.G. Engineering protection of the environment. Purification of waters. Recycling. Moskva: Izd-vo ASV, 2002. 296 p. (in Russian).
4. Ksenofontov B.S. Flotation treatment of water, waste and soil. Moskva: Novyye tekhnologii, 2010. 272 p. (in Russian).
5. Mattila K., Zaitsev G., Langwaldt J. Biological removal of nutrients from mine waters (Biologinen ravinteiden poisto kaivosvedesta). Final report – loppuraportti – Rovaniemi. Finnish Forest Research Institute. 2007. 99 p.
6. Savichev O.G. Biological treatment of wastewater using wading biogeocoenoses // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2008. V. 312. No. 1. P. 69–74 (in Russian).
7. Nefedyeva E.E., Sivolobova N.O., Kravtsov M.V., Shaykhiyev I.G. The post-treatment of wastewater using phytoremediation // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. V. 20. No. 10. P. 145–148 (in Russian).
8. Jin G., Kelley T., Freeman M., Callahan M. Removal of N, P, BOD 5 and coliform in pilot-scale constructed wetland systems // International Journal of Phytoremediation. 2002. V. 4. No. 2. P. 127–141. doi: 10.1080/15226510208500078.
9. Ran N., Agami M., Oron G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel // Water Research. 2004. V. 38. No. 9. P. 2241–2248. doi: 10.1016/j.watres.2004.01.043.
10. Stewart F.M., Mulholland T., Cunningham A.B., Kania B.G., Osterlund M.T. Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes – results of laboratory-scale tests // Land Contamination & Reclamation. 2008. V. 16. No. 1. P. 25–33. doi: 10.2462/09670513.874.
11. Vymazal J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review // Ecological Engineering. 2014. V. 73. P. 724–751. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.09.034.
12. Dong Qing Zhang, Jinadasa K.B.S.N., Gersberg R.M., Liu Y., Wun Jern Ng, Soon Keat Tan. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries. A review of recent developments (2000–2013) // Journal Environmental Management. 2014. V. 141. P. 116–131. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.03.015.
13. Miranda M.G., Galvan A., Romero L. Nitrate removal efficiency with hydrophytes of los reyes Aztecas Lake Water, México // Journal of Water Resource and Protection. 2014. V. 6. P. 945–950. doi: 10.4236/jwarp.2014.611089.
14. Jenssen P.P., Maehlum T., Krogstad T. Potential use of constructed wetlands for wastewater treatment in Northern environments // Water Science Techniques. 1993. V. 28. No. 10. P. 149–157. doi: 10.2166/wst.1993.0223.
15. Maehlum T., Jenssen P.D., Warner W.S. Cold-climate constructed wetlands // Water Science and Technology. 1995. V. 32. No. 3. P. 95–101. doi: 10.2166/wst.1995.0130.
16. Nyquist J., Greger M. A field study of constructed wetlands for preventing and treating acid mine drainage // Ecological engineering. 2009. V. 35. P. 630–642. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.10.018.
17. Evdokimova G.A., Ivanova L.A., Myazin V.A. Device for biological treatment of waste water // Patent RU 2560631 C1. Application: 2014122204, 30.05.2014. Date of publication: 20.08.2015. Bull. 23 (in Russian).
18. Ivanova L.A., Kotelnikov V.A. Perspectives of hydroponic plant growing in the Murmansk region. Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 2006. 106 p. (in Russian).

Возможность снижения токсичности газообразных выбросов энергетических установок воздействием электростатического поля на зону горения органического топлива

© 2019. И. А. Зырянов, к. т. н., доцент, А. П. Позолотин, к. т. н., доцент, А. Г. Будин, к. т. н., доцент, Е. В. Кантор, к. ф.-м. н., доцент, Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36, e-mail: b185@mail.ru

Теплоэлектроэнергетика является одним из наиболее крупных источников загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами, включая продукты неполного сгорания органического топлива. Для снижения негативного воздействия энергетических установок на окружающую среду используются различные методы оптимизации режимов горения топлива и очистки выбросов продуктов горения в атмосферу. Одним из перспективных способов регулирования режимов сжигания топлива с целью снижения токсичности выбросов является воздействие электростатического поля на зону горения. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований, в которых изучалось влияние электростатического поля на горение различных видов газообразного, жидкого и твёрдого органического топлива в различных вариантах конфигурации и направления электрического поля. Показано, что в воздействие электрического поля на зону горения может как снижать, так и повышать температуру пламени, что может быть использовано для оптимизации режимов горения с целью как повышения энергетической эффективности, так и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: энергетика, органическое топливо, горение, электрическое поле, токсичность продуктов горения.

The possibility of reducing the toxicity of gaseous emissions of power plants by the effect of an electrostatic field on the organic fuel combustion zone

© 2019. I. A. Zyryanov ORCID: 0000-0003-4843-4302,
A. P. Pozolotin ORCID: 0000-0003-3130-2573, A. G. Budin ORCID: 0000-0003-2771-1876,
E. V. Kantor ORCID: 0000-0001-9126-0438,
Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: b185@mail.ru

Electric power generation based on combustion of organic fuel is one of the largest sources of air pollution by toxic substances, including products of incomplete combustion. To reduce the negative impact of power plants on the environment, various methods are used to optimize the regimes for burning fuel and cleaning the emissions of combustion products into the atmosphere. One of the promising ways to regulate the combustion of fuels in order to reduce emissions is the effect of the electrostatic field on the combustion zone. This article presents the results of experimental studies in which the influence of the electrostatic field on the combustion of various types of gaseous, liquid and solid organic fuels in various configurations and directions of the electric field was studied. The change in temperature and completeness of combustion in a diffusion flame can be explained as follows: the electric field causes a shift of active charged particles to those torch regions where their presence was previously impossible. The field directed along the flow of fuel leads to a slight increase in the length of the reaction zone, and also causes the displacement of charged particles to the flame front, where they are oxidized. This leads to a change in the mechanism of chemical reactions, which in turn increases the temperature and completeness of fuel combustion. The field directed against the flow of fuel reduces the length of the reaction zone, with the result that the fuel does not have time to react completely. This leads to a decrease in temperature and combustion. So, it is shown that the influence of the electric field on the combustion zone can both reduce and raise the temperature of the flame, which can be used to optimize the combustion regimes with the aim of both improving energy efficiency and reducing the negative impact on the environment.

Keywords: energy, organic fuel, combustion, electric field, toxicity of combustion products.

Проблема загрязнения окружающей среды продуктами горения является одной из наиболее актуальных экологических проблем современности. В связи с этим важную научно-техническую задачу представляет поиск методов повышения экологической безопасности тепловых энергетических установок, основным источником энергии в которых на данный момент является процесс горения. Следовательно, для снижения отрицательного воздействия систем производства тепловой энергии на окружающий мир необходимы эффективные методы оптимизации режима сжигания топлив.

Степень экологической безопасности процесса горения определяется полнотой сгорания топлива, которая зависит от многих параметров: коэффициента избытка окислителя, температуры горения, физико-химических свойств топлива [1]. Однако не всегда экономически целесообразно проводить модернизацию установок классическими методами. Трудности заключаются в поиске баланса между заданной мощностью энергоустановки, стоимостью и возможностями модернизации, а также многими другими факторами. Существуют альтернативные способы изменения параметров горения, которые заключаются в воздействии физическими полями (акустическими, магнитными, электрическими и т. д.) на топливо и зону горения.

Одним из таких способов является наложение внешнего электростатического поля на зону горения углеводородного топлива. Так, в работе [2] авторами воздействием электрического поля на кинетическое пламя метана с воздухом добились снижения выбросов NO и CO на 40 и 60% соответственно. Авторами [3] при моделировании горения пропан-воздушных смесей получено снижение концентрации монооксида азота в продуктах сгорания на 6%. В работе [4] обнаружено снижение выбросов монооксидов азота и углерода для ламинарного диффузионного пламени газовой горелки, причём изменение параметров горения зависит от направления напряжённости электрического поля. Авторами [5] для природного газа на горелке Бунзена при горении в атмосфере воздуха обнаружено снижение выбросов NO и CO в зависимости от величины приложенного напряжения. Зависимости имеют экстремумы. При использовании переменных электрических полей на лабораторной установке для сжигания смеси пропан-бутан было зафиксировано снижение выбросов NO и CO [6]. С другой стороны, авторами [7]

показано, что при снижении образования угарного газа наблюдается увеличение образования монооксида азота. Следует отметить, что все исследования производятся для перемешанных пламён, а горение в экспериментах кинетическое.

Воздействие электрического поля приводит к снижению выбросов сажи [8]. Так для диффузионного пламени ацетиленового наблюдается снижение выброса сажи на 90% при напряжённости поля 200 кВ/м, данный эффект зависит от полярности электродов и обусловлен окислением сажи с ростом температуры факела. Также изучалось влияние поля на сажеобразование [9]. В работе показано, что внешнее поле может эффективно управлять интенсивностью образования сажи в пламени.

Авторы работ [2–9] указывают на изменение формы пламени и независимость эффекта снижения выбросов от полярности электродов, а, значит, от направления вектора напряжённости электрического поля. Исследования [10–12] показывают сложный характер влияния поля на горение: это действие массовых сил на заряженные частицы в пламени, влияние на фазовый переход на границе «конденсированная фаза (к-фаза) – пламя», диспергирование к-фазы топлива, конкуренция действия массовых сил и кинетики химических реакций. Широкий спектр проявления физических явлений, сопровождающих действие электрического поля на горение углеводородных топлив в различных агрегатных состояниях, затрудняет внедрение электрополевого способа управления процессом горения с целью снижения вредных выбросов в реальные энергоустановки.

Таким образом, для решения вопроса о внедрении электрополевого способа для повышения экологической безопасности процесса горения в энергоустановках, работающих на конденсированных топливах, разработчикам необходимы данные комплексных исследований для веществ в различных агрегатных состояниях и для различных режимов горения.

Оценить полноту сгорания топлив можно по максимальной температуре пламени. Согласно [1], полнота сгорания в энергоустановке в приближённом случае может быть определена по формуле (1):

$$\eta \approx \frac{T_k^{\text{реал}}}{T_k}, \quad (1)$$

где $T_k^{\text{реал}}$ – температура продуктов горения, измеренная в ходе экспериментов,

T_k – температура, полученная в результате расчётов.

Целью настоящей работы является оценка влияния электростатического поля на температуру пламени и полноту сгорания различных видов органического топлива, что в перспективе позволит использовать электрополевой способ управления режимом горения для снижения токсичности газообразных выбросов энергетических установок.

Материалы и методы

Исследования горения веществ в различных агрегатных состояниях проведены на экспериментальных стендах, описанных в [10, 12, 13].

Диффузионное горение газов (пропан) и жидкостей (декан, ундекан, додекан, тетрадекан) исследовалось на коаксиальных горелках. Горелка представляет собой две коаксиально расположенные кварцевые трубки: при этом по внутренней трубке (диаметром 14 мм для жидкостей и 8 мм для газов) подаётся горючее, по внешней (диаметром 48 мм для жидкостей и 20 мм для газов) – окислитель. Расходы газов контролировались ротаметрами, а расход жидкости определялся по методике, описанной в [10].

Стенд для исследования диффузионного горения твёрдых веществ представляет собой подставку со столиком для образца, помещённую на весы. Подставка с образцом помещена в сетчатый кожух диаметром 250 мм для исключения влияния внешнего потока воздуха на горение. Измерение скорости горения образца производится методом непрерывного взвешивания [12].

Горение твёрдых веществ в высокоэнтальпийном потоке исследовалось на экспериментальном стенде, описанном в [13] (в данной работе под термином «высокоэнтальпийный поток» подразумевается высокоскоростной высокотемпературный поток с протеканием химических реакций). Рабочий участок представляет собой полимерный блок длиной 250 мм с высверленным по центру каналом начального диаметра 20 мм, по которому продувается окислитель – газообразный кислород. Горение происходит внутри канала. Расход окислителя контролируется соответствующим датчиком, а измерение массовой скорости горения производится по методике, описанной в [13].

Для указанных экспериментальных стендов в качестве топлив используются

газы (пропан); жидкости (декан, ундекан, додекан, тридекан, тетрадекан); твёрдые вещества – полиметилметакрилат (ПММА), синтетический цис-бутадиеновый каучук СКД-2, бутадиенстирольный маслонеполненный каучук СКМС-30, синтетический тройной этиленпропиленовый каучук СКЭПТ, бутадиен-нитрильный каучук СКН-26; для случая высокоэнтальпийного потока – ПММА. Определение температуры в пламени проводилось по микротермопарной методике с использованием термопары хромель-алюмель (ХА) диаметром 60 мкм.

Электростатическое поле в зоне горения создаётся с помощью системы электродов и высоковольтного источника напряжения НСР 35–35000 (компания FuG Elektronik, Германия). Исследования диффузионного горения газов, жидкостей и полимеров проведены при конфигурации электродов, приведённой на рис. 1 а и б (см. цветную вкладку). При исследовании горения в высокоэнтальпийном потоке используется конфигурация электродов по схеме коаксиального конденсатора (внутренний электрод – стержень, внешний – сетка вокруг твёрдотопливного блока) – рис. 1 с).

Для того, чтобы поле оставалось электростатическим, в экспериментах контролируется отсутствие тока в цепи электродов. Направление вектора напряжённости электрического поля обозначается следующим образом: поле, направленное от поверхности горючего (верхний электрод отрицателен) по потоку продуктов сгорания, обозначается как $\vec{E} \uparrow \uparrow$. Поле, направленное к поверхности топлива (верхний электрод положительный) против потока продуктов сгорания обозначается как $\vec{E} \uparrow \downarrow$. На графиках далее $\vec{E} \uparrow \uparrow$ соответствует отрицательным значениям напряжённости, $\vec{E} \uparrow \downarrow$ – положительным.

Результаты и обсуждение

Микротермопарное зондирование пламен углеводородов ряда алканов, как газообразных, так и жидких, показало, что распределения температуры в пламени во всех случаях качественно похожи. На рисунке 2 (см. цветную вкладку) показан характер распределения температур в пламени додекана с нанесёнными изотермами, по вертикали и горизонтали отложено расстояние в миллиметрах. Максимум температуры располагается в верхней части пламени. Наложение электростатического поля приводит к изменению геометрии пламени для всех исследованных

И. А. ЗЫРЯНОВ, А. П. ПОЗОЛОТИН, А. Г. БУДИН, Е. В. КАНТОР
ВОЗМОЖНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА ЗОНУ ГОРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА, С. 88

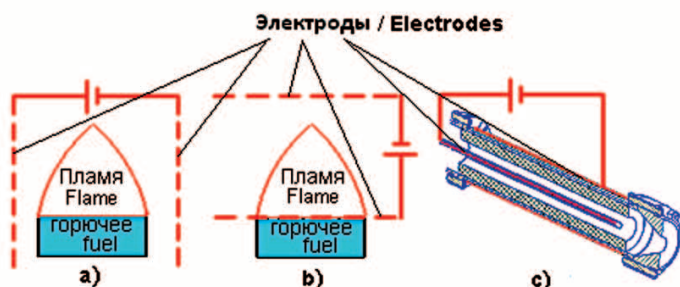


Рис. 1. Схемы расположения электродов (а – поперечное поле, б – продольное поле, с – радиальное поле)
Fig. 1. Electrodes arrangement (a – transverse field, b – longitudinal field, c – radial field)

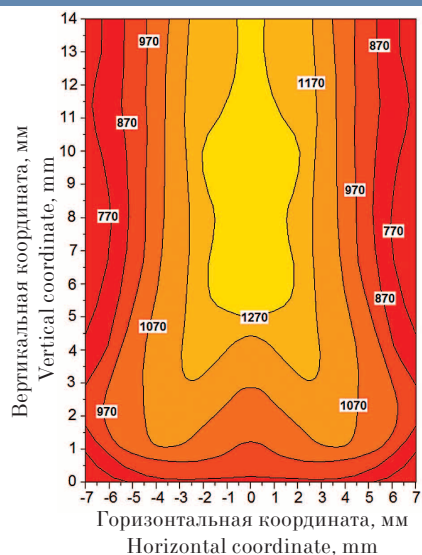


Рис. 2. Тепловая структура пламени додекана $C_{12}H_{26}$, температура в градусах Кельвина
Fig. 2. The thermal structure of the dodecane $C_{12}H_{26}$ flame, temperature in Kelvin degrees

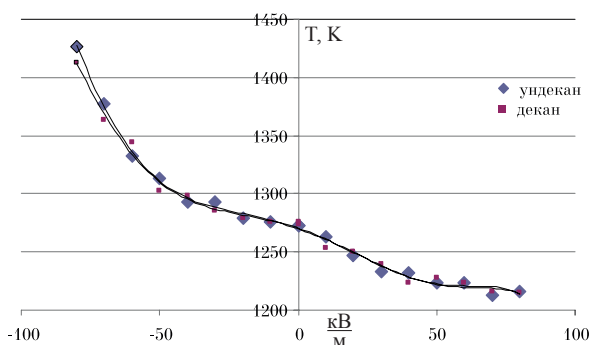


Рис. 3. Максимальная температура в пламени алканов
Fig. 3. Maximum temperature in the flame of alkanes

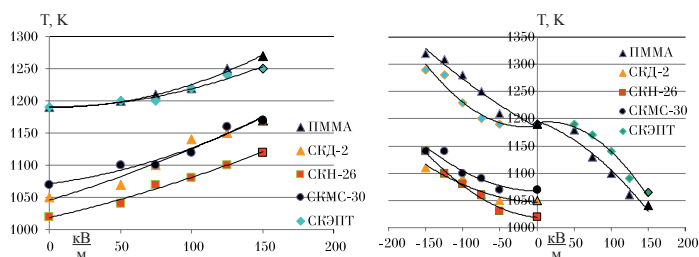


Рис. 4. Изменение температуры пламени для полимеров, горящих в электрических полях
Fig. 4. Flame temperature change for polymers burning in electric field

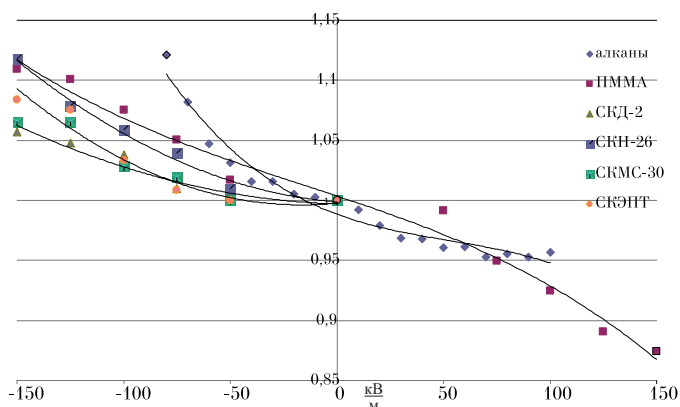


Рис. 6. Относительное изменение полноты сгорания топлива / **Fig. 6.** The relative change in the completeness of combustion

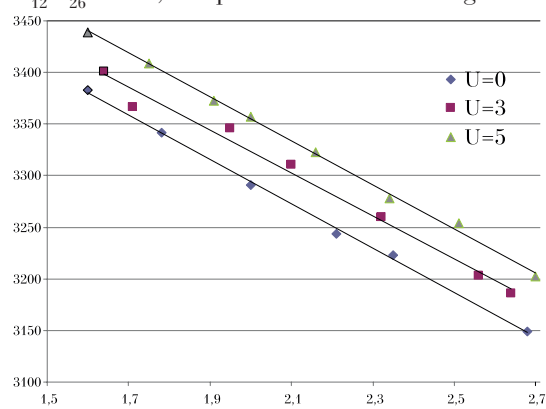


Рис. 5. Температура пламени ПММА, горящего в высокоэнтальпийном потоке
Fig. 5. Polymethyl methacrylate (PMMA) burning in high-enthalpy flow flame temperature

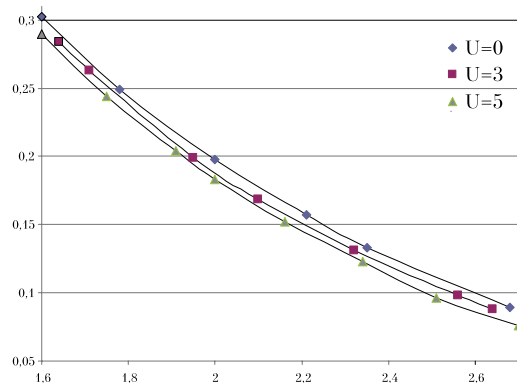


Рис. 7. Отношение концентрации угарного газа к продуктам полного окисления при горении ПММА в высокоэнтальпийном потоке
Fig. 7. Ratio of carbon monoxide concentration to complete oxidation products during PMMA combustion in a high-enthalpy flow

горючих. Поле, направленное к срезу горелки, прижимает пламя, а поле обратного направления незначительно вытягивает факел горения.

Измерения температур в пламени алканов при наложении электрического поля также показали, что изменение не зависит от вида топлива. График изменения температуры представлен на рисунке 3 (см. цветную вкладку).

Наложение электрического поля $\vec{E} \uparrow \uparrow$ приводит к увеличению температуры пламени на 150 К при значении напряжённости 80 кВ/м. Поле обратного направления приводит к снижению температуры пламени на 50 К при напряжённости 80 кВ/м. При этом в поле, направленном против потока горючего, происходит существенное снижение высоты пламени, а в поле противоположного направления – незначительное увеличение.

При наложении электростатического поля по схеме, приведённой на рисунке 1 а, для случая горения полимеров максимальная температура пламени при напряжённости 150 кВ/м для ПММА, СКД-2, СКМС-30, СКЭПТ, СКН-26 увеличивается на 80 К, 120 К, 100 К, 60 К, 100 К соответственно (рис. 4 а). Наряду с увеличением температуры, фронт горения деформируется, массовая скорость горения увеличивается [8].

Электростатическое поле, локализованное в области пламени (рис. 1 б) при $\vec{E} \uparrow \uparrow$ увеличивает температуру пламени для ПММА на 130 К, для СКД-2 на 60 К, для СКМС-30 на 70 К, для СКЭПТ на 100 К, для СКН-26 на 120 К при напряжённостях до 150 кВ/м (рис. 4 б, см. цветную вкладку). При обратном направлении поля $\vec{E} \uparrow \downarrow$ температура пламени уменьшается на 150 К для ПММА, 120 К для СКЭПТ при аналогичных модулях напряжённости. Из-за нестационарности процесса горения для СКД-2, СКН-26, СКМС-30 измерение температуры не производилось. Для выбранной конфигурации электродов при $\vec{E} \uparrow \uparrow$ массовая скорость горения увеличивалась, наблюдалось ускорение потока горения без деформации факела. При $\vec{E} \uparrow \downarrow$ скорость горения для ПММА, СКЭПТ уменьшается, а для остальных полимеров увеличивается. Регистрируется деформация фронта горения [8].

Горение в высокоэнтальпийном потоке также имеет отклик на воздействие электростатического поля: скорость убыли массы твёрдого вещества возрастает. При горении в канале зависимость скорости сгорания от плотности потока окислителя может быть аппроксимирована уравнением вида: $U = A \cdot (\rho v)^n$ [14], где U – линейная скорость горения полимера,

A и n – константы, отражающие особенности топлив и условий горения, ρ и v – плотность и скорость потока окислителя соответственно. В результате экспериментальных исследований, подробно описанных в [13], для ПММА, горящего в потоке газообразного кислорода, получены следующие зависимости:

– без поля: $U = 0,029(\rho v)^{0,57}$;

– при разности потенциалов между электродами 3 кВ: $U = 0,033(\rho v)^{0,56}$;

– при разности потенциалов между электродами 5 кВ: $U = 0,038(\rho v)^{0,56}$.

Расчёт температуры пламени при горении ПММА в высокоэнтальпийном потоке был проведён по методике, описанной в [15], с использованием экспериментально полученных зависимостей соотношения горючего и окислителя, давления в канале горения. График зависимости температуры в зоне горения от коэффициента избытка окислителя приведён на рисунке 5 (см. цветную вкладку). Как видно по представленному графику, температура горения возрастает в среднем на 6% при напряжении 5 кВ.

Полученные результаты показывают, что электрическое поле способно как увеличивать, так и снижать максимальную температуру пламени. Оценку изменения полноты сгорания при воздействии электрического поля для диффузионного горения проведём, используя соотношение (1), представленное выше.

Ввиду неоднородности распределения температуры по объёму факела горения оценку будем производить по максимальной температуре пламени. На рисунке 6 (см. цветную вкладку) приведён график относительного изменения полноты сгорания $B = \frac{\eta_e}{\eta}$, где η_e и η – полнота сгорания в поле и без поля соответственно.

Как видно по представленному графику в поле, направленном по потоку горючего (отрицательные значения напряжённости, схема на рис. 1 б) полнота сгорания возрастает, поле же обратного направления снижает качество сгорания топлива. Эффект влияния электрического поля на факел пламени в литературе объясняется тремя механизмами: ионный ветер, влияние на кинетику химических реакций и прямой переход энергии поля в теплоту (джоулево тепло). Последний механизм в нашем случае не может иметь место в виду отсутствия тока в цепи электродов.

Основываясь на известных механизмах, изменение температуры и полноты сгорания в диффузионном пламени можно объяснить

следующим образом: электрическое поле вызывает смещение активных заряженных частиц в те области факела, где ранее их присутствие было невозможным. Поле, направленное по потоку горючего, приводит к незначительному увеличению длины реакционной зоны, а также вызывает смещение заряженных частиц к фронту пламени, где они окисляются. Это приводит к изменению механизма химических реакций, что в свою очередь повышает температуру и полноту сгорания топлива. Поле, направленное против потока горючего, снижает длину реакционной зоны, в результате чего топливо не успевает прореагировать полностью. Это приводит к снижению температуры и полноты сгорания.

Оценку полноты сгорания для ситуации горения в высокоэнтальпийном потоке проведем на основании расчёта по методике, приведённой в [15]. Ввиду того, что горение происходит при избытке окислителя, в расчёте продуктами сгорания являются CO_2 , H_2O , CO . Расчёт продуктов окисления азота не производится, поскольку ни в окислителе, ни в горючем данного вещества нет. На рисунке 7 (см. цветную вкладку) представлен график зависимости отношения концентрации CO к суммарной концентрации CO_2 и H_2O в продуктах сгорания (ϵ).

Результаты расчёта показывают, что при всех значениях коэффициента избытка окислителя наблюдается снижение относительной концентрации CO в среднем на 5–10%. Горение в высокоэнтальпийном потоке происходит в диффузионно-кинетическом режиме. Наложение электрического поля будет приводить к возникновению ионного ветра в зоне горения, что будет вызывать перемешивание реакционной смеси и способствовать более полному протеканию химических реакций. С другой стороны, электрическое поле может вызывать диспергирование поверхности конденсированного компонента топлива, что также стимулирует перемешивание топлива и окислителя. Таким образом, показана перспективность использования электрополевого метода влияния на горение в целях повышения экологичности энергоустановок.

Заключение

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния электростатического поля на температуру в зоне диффузионного горения конденсированных веществ и горения полимеров в высокоэнталь-

пийном потоке. Показано, что максимальная температура диффузионного пламени при воздействии электрического поля может как увеличиваться, так и снижаться. Это в свою очередь позволяет как повышать, так и снижать полноту сгорания. Для условий горения в высокоэнтальпийном потоке на основании расчётов показано, что полнота сгорания возрастает при воздействии электрического поля. Дано объяснение полученных эффектов на основании механизма ионного ветра.

Литература

1. Губерт А.М. Процессы в гибридных ракетных двигателях / Под. ред. А.С. Коротаева. М.: Наука. 2008. 405 с.
2. Altendorfer F., Sakhrieh A., Beyrau F., Leipertz A., Dinkelacker F., Lins G., Hammer T., Branston D.W. Electric field effects on emissions and flame stability with optimized electric field geometry // Third European combustion meeting ECM. 2007. P. 1–6.
3. Soleimani A., Moghaddam H.M. Numerical analysis of the induced electric field effects on combustion parameters and reducing emissions of swirling flame of hydrocarbon fuels // Journal of environmentally friendly processes. 2016. V. 4. No. 2. P. 4–24.
4. Vatazhin A.B., Likhter V.A., Sepp V.A., Shul'gin V.I. Effect of an electric field on the nitrogen oxide emission and structure of a laminar propane diffusion flame // Fluid dynamics. 1995. V. 30. No. 2. P. 166–174.
5. Кочева М.А., Суворов Д.В. Экспериментальное исследование снижения вредных выбросов CO и NO_x при наложении электрического поля отрицательной напряжённости на факел пламени // Фундаментальные исследования. 2017. № 10. Ч. 2. С. 233–238.
6. Громцев С.А., Громцев А.С., Пурмал М.Я. Вепольная интенсификация горения топлива в топке теплового аппарата // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1. С.96–1027.
7. Krickis O., Jaundālders S. Impact of electric field in the stabilized premixed flame on NO_x and CO emissions // IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). Riga, 2017. P. 1–5.
8. Won S.H., Ryu S., Kim M.K., Chung S.H., Cha M.S. Effect of electric fields on the propagation speed of tribrachial flames in coflow jets // Combustion and Flame. 2008. V. 152. No. 4. P. 496–506.
9. Gillon P., Gilard V., Idir M., Sarh B. Electric field influence on the stability and the soot particles emission of a laminar diffusion flame // Combustion Science and Technology. 2018. P. 1–14.
10. Решетников С.М., Зырянов И.А. Влияние электростатического поля на макрокинетику горения

алканов и керосина // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 1. С. 120–128.

11. Reshetnikov S.M., Bobrov A.S., Zyryanov I.A. Electric field effect on the diffusion flame structure at different oxidizer excess coefficients // Russian Aeronautics (IzVUZ). 2010. V. 53. No. 2. P. 206–211.

12. Решетников С.М., Позолотин А.П., Зырянов И.А. Горение полимеров в электростатическом поле // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2013. № 3–1 (41). С. 222–229.

13. Reshetnikov S.M., Zyryanov I., Budin A.G., Reshetnikov I.S. Hybrid rocket Engine control by the electrostatic field // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2018. V. 11. No. 1. P. 146–150.

14. Головкин Л.Г. Гибридные ракетные двигатели. М.: Воениздат, 1976. 168 с.

15. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989. 464 с.

References

1. Gubertov A.M. Processes in hybrid rocket engines / Ed. A.S. Korotaev. Moskva: Nauka. 2008. 405 p. (in Russian).

2. Altendorfner F., Sakhrieh A., Beyrau F., Leipertz A., Dinkelacker F., Lins G., Hammer T., Branston D.W. Electric field effects on emissions and flame stability with optimized electric field geometry // Third European combustion meeting ECM. 2007. P. 1–6.

3. Soleimani A., Moghaddam H.M. Numerical analysis of the induced electric field effects on combustion parameters and reducing emissions of swirling flame of hydrocarbon fuels // Journal of Environmentally Friendly Processes. 2016. V. 4. No. 2. P. 4–24.

4. Vatazhin A.B., Likhter V.A., Sepp V.A., Shulgin V.I. Effect of an electric field on the nitrogen oxide emission and structure of a laminar propane diffusion flame // Fluid dynamics. 1995. V. 30. No. 2. P. 166–174.

5. Kocheva M.A., Suvorov D.V. Experimental study of the reduction of harmful emissions of CO and NO_x when an electric field of negative intensity is applied to the flame // Fundamentalnyye issledovaniya. 2017. No. 10. Part 2. P. 233–238 (in Russian).

6. Gromtsev S.A., Gromtsev A.S., Purmal M.Ya. Vepol intensification of fuel combustion in the furnace of a heat apparatus // Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya Protssy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2014. No. 1. P. 96–102 (in Russian).

7. Krickis O., Jaundālders S. Impact of electric field in the stabilized premixed flame on NO_x and CO emissions // IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). Riga, 2017. P. 1–5.

8. Won S.H., Ryu S., Kim M.K., Chung S.H., Cha M.S. Effect of electric fields on the propagation speed of tribrachial flames in coflow jets // Combustion and Flame. 2008. V. 152. No. 4. P. 496–506. doi: 10.1016/J.COMBUST-FLAME.2007.11.008.

9. Gillon P., Gilard V., Idir M., Sarh B. Electric field influence on the stability and the soot particles emission of a laminar diffusion flame // Combustion Science and Technology. 2018. P. 1–14. <https://doi.org/10.1080/00102202.2018.1467404/>.

10. Reshetnikov S.M., Zyryanov I.A. Effect of electrostatic field on the macrokinetics of alkane and kerosene combustion // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. No. 1. P. 120–128 (in Russian).

11. Reshetnikov S.M., Bobrov A.S., Zyryanov I.A. Electric field effect on the diffusion flame structure at different oxidizer excess coefficients // Russian Aeronautics (IzVUZ). 2010. V. 53. No. 2. P. 206–211.

12. Reshetnikov S.M., Pozolotin A.P., Zyryanov I.A. Polymer burning in an electrostatic field // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva (natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta). 2013. No. 3–1 (41). P. 222–229 (in Russian).

13. Reshetnikov S.M., Zyryanov I., Budin A.G., Reshetnikov I.S. Hybrid rocket engine control by the electrostatic field // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2018. V. 11. No. 1. P. 146–150. doi: 10.25103/jestr.111.17.

14. Golovkov L.G. Hybrid rocket engines. Moskva: Voensizdat, 1976. 168 p. (in Russian).

15. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. Москва: Машиностроение, 1989. 464 с. (in Russian).

Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.)

© 2019. Л. И. Домрачева^{1,2}, д. б. н., профессор, Д. В. Козылбаева¹, аспирант, А. Л. Ковина¹, к. б. н., доцент, Л. В. Трефилова¹, к. б. н., доцент, Ю. Н. Зыкова¹, к. б. н., доцент, М. Н. Грипас³, к. с-х. н., с. н. с., В. А. Изотова¹, магистрант,

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а, e-mail: dli-alga@mail.ru

Исследовали эффективность предпосевной обработки семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) моно- и поликомпонентными ассоциациями на основе клубеньковых бактерий (КБ) *Rhizobium loti* 1801, цианобактерии (ЦБ) *Fischerella muscicola* 300 и актинобактерии (АБ) *Streptomyces hygroscopicus* A4. При оценке эффективности инокуляции проводили определение ксеромассы надземной части растений, интенсивность образования клубеньков на корнях (степень нодуляции) и состояние ризосферной микрофлоры. Показано, что наиболее перспективными биологическими агентами для создания комплексного препарата, предназначенного для увеличения урожайности лядвенца рогатого, являются бинарные ассоциации *Rh. loti* 1801+ *F. muscicola* 300, *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4 и тройная *Rh. loti* 1801+ *F. muscicola* 300 + *S. hygroscopicus* A4. В этих же вариантах отмечается максимальное количество клубеньков на корнях. Установлено, что интродукция микроорганизмов, попадающих в почву с семенами лядвенца, стимулировала развитие аммонифицирующих бактерий.

Ключевые слова: лядвенец рогатый, микробные ассоциации, инокуляция семян, ризосферная микрофлора.

Optimization of the microbiological composition of the biological product for cultivation of *Lotus corniculatus*

© 2019. L. I. Domracheva^{1,2} ORCID: 0000-0002-7104-3337*

D. V. Kozylbayeva¹ ORCID: 0000-0001-8882-9355*, A. L. Kovina¹ ORCID: 0000-0003-0503-3402*

L. V. Trefilova¹ ORCID: 0000-0002-9932-5803* Yu. N. Zyкова¹ ORCID: 0000-0003-0711-250X*

M. N. Griпас³ ORCID: 0000-0003-1773-4142* V. A. Izotova¹ ORCID: 0000-0001-5289-1755*

¹Vyatka State Agricultural Academy,

133, Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

³Federal Agricultural Research Center of North East named N.V. Rudnitsky, 166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: dli-alga@mail.ru

In a field experiment the effectiveness of presowing treatment of seeds of *Lotus corniculatus* by mono- and multicomponent microbial associations has been investigated. The associations were based on the nodule bacteria (NB) of *Rhizobium loti*, cyanobacteria (CB) *Fischerella muscicola* and actinobacteria (AB) *Streptomyces hygroscopicus* A4. Evaluation of effectiveness was carried out by the analysis of morphometric parameters of the aerial part and the plants biomass, as well as the intensity of the tubercles formation. The results obtained during two years of studying the effect of different microbes-introducents on the formation of the crop of *Lotus corniculatus* undoubtedly showed that the most effective option was the treatment of seeds with a three-component association based on KB, CB and AB. The biomass yield in this variant, both in the first year and in the second year of vegetation, was higher by 80.0% compared with the control, while the nodulation intensity was also higher by 37.6% in the variant with three-component bacterization of

seeds. The results of quantitative accounting of microorganisms showed that certain changes occur in the composition of microbial complexes. Thus, in some variants, sharp fluctuations in the number of ammonifiers and actinomycetes are noted. Least of all microbial introduction affected the number of nitrogen fixers. All these changes can be caused by the influence of introduced microbes on the native microflora, and are probably associated with the volumes of isolated root exometabolites, which, in turn, are affected by the species composition of inoculant microbes. It is shown that the introduction of microorganisms into the soil with seeds stimulates the development of agronomically useful native soil microbiota. CB and AB can be attributed to the set of promising biological agents for the creation of a complex preparation designed to increase the productivity and yield of *Lotus corniculatus*.

Keywords: *Lotus corniculatus*, microbial associations, seed inoculation, rhizosphere microflora.

Использование биопрепаратов на основе микроорганизмов различных систематических групп, в той или иной степени влияющих на плодородие почвы и урожайность культур, стало неотъемлемой частью современного сельского хозяйства. Однако применение биопрепаратов имеет ряд ограничений, связанных, например, с отсутствием региональных штаммов, конкурентоспособностью штаммов, отсутствием подходящего носителя, часто возникающими мутациями, а также репрессивным действием абиотических факторов [1]. Основная биотехнологическая схема получения биопрепаратов предполагает поиск и выделение из окружающей среды микробных популяций с определёнными функциональными характеристиками, включая азотфиксацию, синтез фитогормонов, подавление фитопатогенов и вредителей [2]. Оптимизационный подход к использованию биопрепаратов предполагает переход от использования монокультур к созданию комплексных микробных удобрений. В частности, это касается и классического бактериального удобрения на основе клубеньковых бактерий (КБ) р. *Rhizobium*, предназначенного для повышения уровня симбиотической азотфиксации бобовых культур. При этом важно знать, какой будет реакция почвенных ризомикробов (Growth Promoting Rhizobacteria) на вносимые в почву микроорганизмы, поскольку именно микроорганизмы ризосферы во многом обеспечивают иммунитет и продуктивность высшего растения [3–5]. В идеальном случае микробы-интродуценты могут и должны повышать природный функциональный потенциал природных сообществ микроорганизмов (МО).

В случае использования бактерий р. *Rhizobium* ранее нами показана эффективность использования двухкомпонентных ассоциаций на основе КБ и цианобактерий (ЦБ) для обработки семян бобовых. Было обнаружено, что под влиянием цианобактериальной обработки увеличивается количество клубеньков на корнях, эффективность азотфиксации и стимулируется рост растений. Доказано, что при микробной интродукции в почве происходят определённые изменения количественных по-

казателей и структуры микробных комплексов [6–9]. Существуют и другие примеры более успешного выживания и функционирования бинарных популяций ризобиума с другими гетеротрофными бактериями по сравнению с его выживаемостью в монокультуре [10].

Поэтому одним из перспективных направлений в разработке эффективных биопрепаратов является создание искусственных микробных ассоциаций, обладающих экологической поливалентностью.

Цель данной работы – выявление оптимального состава микробных ассоциаций, предназначенных для инокуляции семян при выращивании лядвенца рогатого.

Объекты и методы

Объектом исследования служил лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.) сорта Солнышко [11]. Для оптимизации микробиологического состава биопрепарата «Ризоверм», на основе КБ *Rhizobium loti* Jarvis et al., шт. 1804, который широко используется при обработке семян бобовых в России, дополнительно использовали два вида МО: ЦБ и актинобактерии (АБ). Азотфиксирующая *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom. шт. 300 выделена из дерново-подзолистой почвы в Кировской области, поддерживается в альгологически чистом виде в коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии. Культивирование фишереллы показало, что по сравнению с другими видами азотфиксирующих ЦБ, имеющимися в коллекции кафедры и используемыми в биотехнологических целях, этот вид имеет более высокую степень нарастания биомассы с длительным нахождением в активном состоянии. Проведённые тестовые испытания *F. muscicola* на культурах фитопатогенных грибов рода *Fusarium* выявили высокую степень её антагонистической активности [12].

Культура АБ *Streptomyces hygroscopicus* А4 из рабочей коллекции лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов

Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого любезно предоставлена И. Г. Широких. По литературным данным, этот штамм АБ проявляет антагонистическую активность в отношении возбудителей наиболее вредоносных грибных заболеваний зерновых культур [13].

В полевом опыте посев скарифицированных инокулированных семян лядвенца проводился на микроделянки площадью 1 м² в 3-х кратной повторности в 2017 г. Почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая, рН_{ксл} 4,3–4,4; P₂O₅ 169–179 мг/кг; K₂O 144–154 мг/кг; гумус 2,27% [7, 14].

Размещение опытных и контрольных деленок рендомизированное. Варианты опыта: 1) контроль – без инокуляции; в опытных вариантах предпосевную инокуляцию семян проводили следующими культурами и их ассоциациями МО: 2) *Rhizobium loti*; 3) *Fischerella muscicola*; 4) *Streptomyces hygroscopicus* A4; 5) *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4; 6) *Rh. loti* + *F. muscicola*; 7) *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4; 8) *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4.

Приведены результаты урожайных данных лядвенца и состояния микробных комплексов почвы второго года пользования. Для характеристики состояния возделываемой культуры в течение вегетационного сезона 2018 г. проводили два укоса. Определение сухой массы надземной части с 1м² и объёма

корневой системы проводили по общепринятым методикам [15], кроме того, подсчитывали количество клубеньков на корнях десяти растений во всех вариантах опыта.

В первый и второй год вегетации лядвенца отбирали образцы ризосферной почвы для микробиологического анализа согласно методике [16]. Количественный учёт ризосферной микрофлоры МО проводили методом разведения с дальнейшим посевом на селективные питательные среды: бактерии-аммонификаторы – на мясопептонный агар (МПА), азотфиксаторы – на среде Эшби, микромицеты – на среде Чапека.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы STATISTICA.

Результаты и обсуждение

Первый укос лядвенца второго года пользования проведён в фазу цветения, второй укос – в фазу созревания семян. При определении ксеромассы надземной части лядвенца первого укоса, установлено, что этот показатель был выше во всех опытных вариантах, по сравнению с контролем. Максимальной величины достигает урожай сухой массы при обработке семян двойными ассоциациями (*Rh. loti* + *F. muscicola*) – на 83,3%; (*Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4) – на 60% и тройной смесью

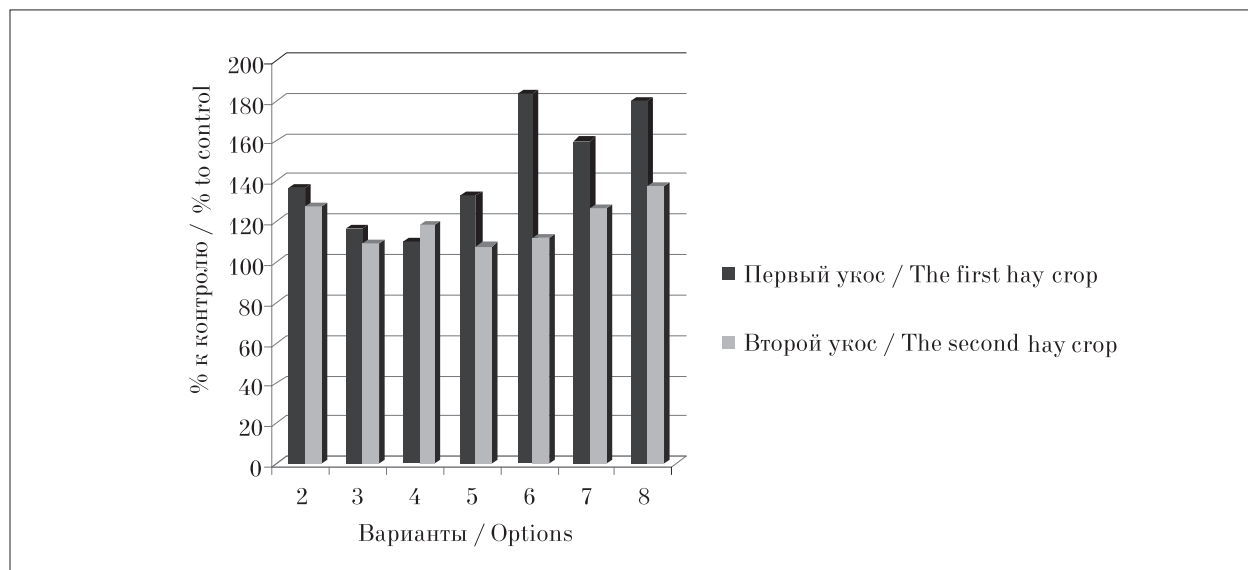


Рис. 1. Влияние предпосевной бактериализации семян на урожай сухой массы лядвенца рогатого второго года пользования. Варианты опыта: 1) контроль – без бактериализации; 2) *Rhizobium loti*; 3) *Fischerella muscicola*; 4) *Streptomyces hygroscopicus* A4; 5) *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4; 6) *Rh. loti* + *F. muscicola*; 7) *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4; 8) *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4

Fig. 1. Influence of presowing bacterization of seeds on the yield of dry weight of *Lotus corniculatus* on the second year of use. The variants of the experiment: 1) control – without bacterization; 2) *Rhizobium loti*; 3) *Fischerella muscicola*; 4) *Streptomyces hygroscopicus* A4; 5) *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4; 6) *Rh. loti* + *F. muscicola*; 7) *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4; 8) *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4

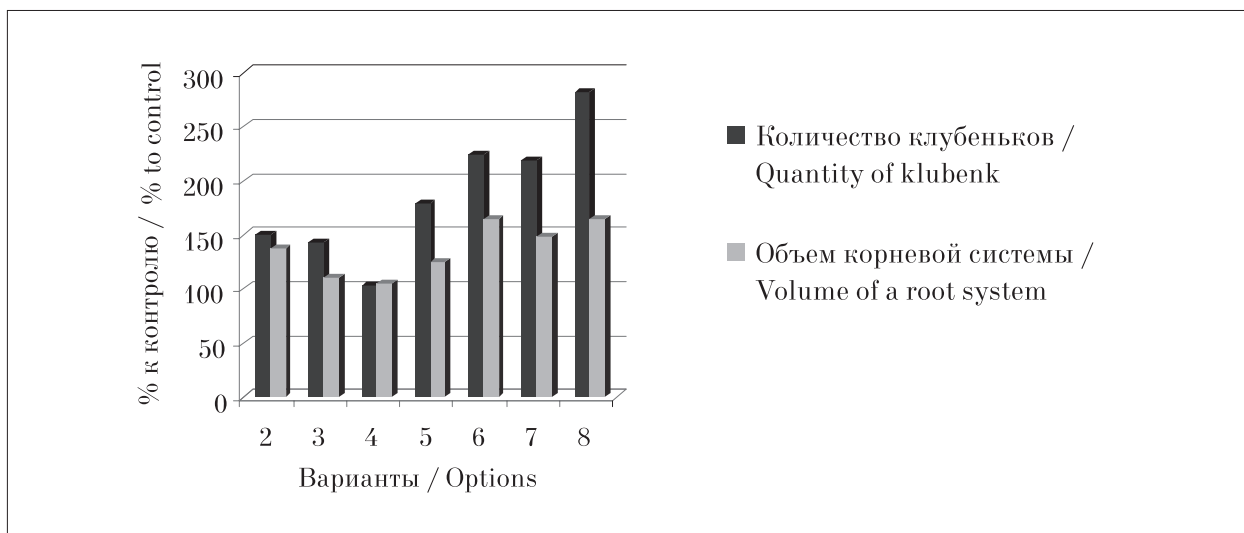


Рис. 2. Влияние предпосевной бактериализации семян на количество клубеньков на корнях и объём корневой системы лядвенца рогатого. Варианты опыта такие же, как на рисунке 1
Fig. 2. Influence of presowing bacterization of seeds on the number of nodules on the roots and the volume of the root system of the *Lotus corniculatus*. Experience options same, as in figure 1

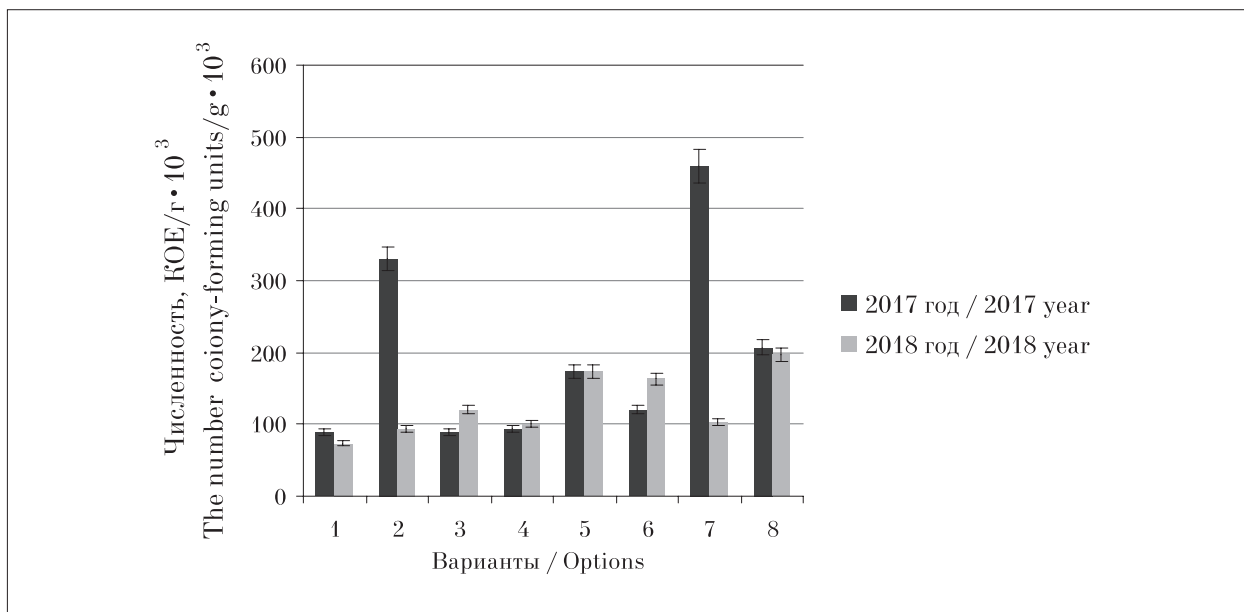


Рис. 3. Влияние предпосевной бактериализации семян на численность аммонификаторов в ризосфере лядвенца рогатого. Варианты опыта такие же, как на рисунке 1
Fig. 3. Influence of presowing seeds bacterization on the number of ammonifiers in the rhizosphere of *Lotus corniculatus*. Experience options same, as in figure 1

(*Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hudsonicus* A4) – на 80,0%. Показатели надземной фитомассы второго укоса также были выше контроля во всех вариантах (рис. 1).

По результатам двух укосов максимальная урожайность была в вариантах, где *Rh. loti* использован в бинарных и тройной ассоциациях (рис. 1; варианты 6, 7, 8), в которых значения урожайности превышали контрольные на 95,3; 86,5 и 117,0% соответственно.

На формирование надземной части бобовых растений, несомненно, оказывает влияние объём корневой системы, количество и жизнеспособность клубеньков, поэтому в стадии цветения лядвенца определяли интенсивность нодуляции во всех вариантах (рис. 2).

Использование двойных и тройной бактериальных смесей при предпосевной инокуляции семян приводит к повышению показателей объёма корневой системы и количества

клубеньков в среднем на один корень на 64,5% и 81,5% соответственно. Самой эффективной среди всех изучаемых инокулянтов оказалась тройная смесь (*Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4). В этом варианте количество клубеньков и объём корневой системы превышали соответствующие показатели в контроле на 281,5 и 164,5% соответственно.

Результаты количественного учёта ризосферной микрофлоры показывают, что в 2018 г. стимулирующее влияние интродуцентов на бактерии-аммонификаторы существенно ниже, чем в 2017 г. (рис. 3).

В то же время, по сравнению с контролем численность этой группы МО в нескольких вариантах превышает контрольные пока-

затели (*F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4, *Rh. loti* + *F. muscicola* и *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4). При этом практически одинаковые показатели в течение двух лет наблюдали в вариантах с обработкой бинарной (*F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4) и тройной ассоциациями (*Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* A4).

Стимулирующий эффект микробной интродукции на численность азотфиксаторов в 2017 г. фактически проявился только в одном варианте *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* A4, где этот показатель был в 1,4 раза выше по сравнению с контролем. В 2018 г. во всех вариантах отмечено снижение численности азотфиксаторов (рис. 4).

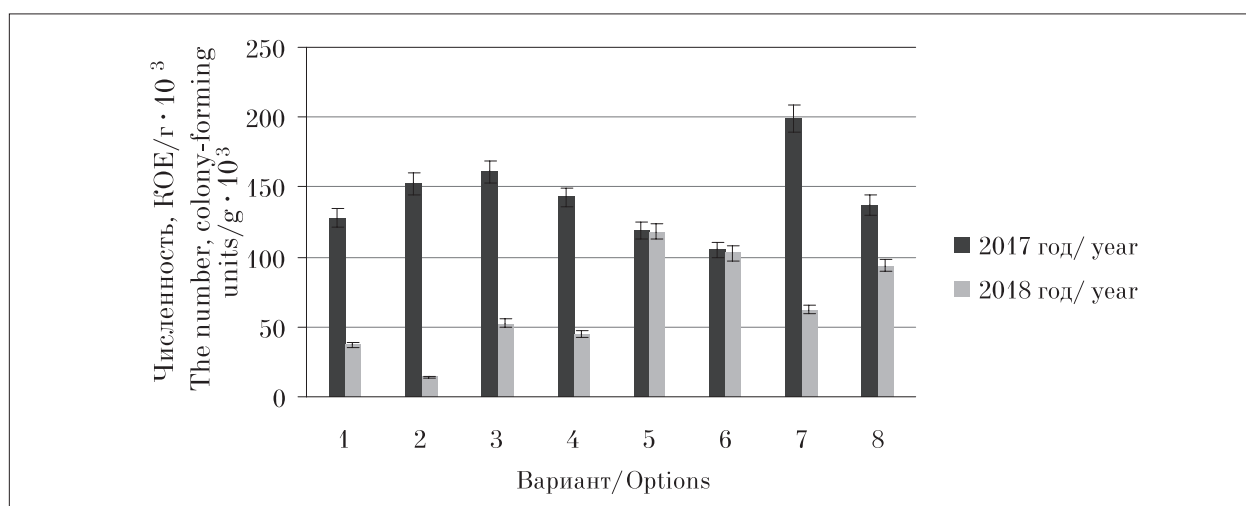


Рис. 4. Влияние предпосевной бактериализации семян на численность азотфиксаторов в ризосфере лядвенца рогатого. Варианты опыта такие же, как на рисунке 1
Fig. 4. Influence of presowing seeds bacterization on the number of nitrogen fixers in the rhizosphere of *Lotus corniculatus*. Experience options same, as in Figure 1

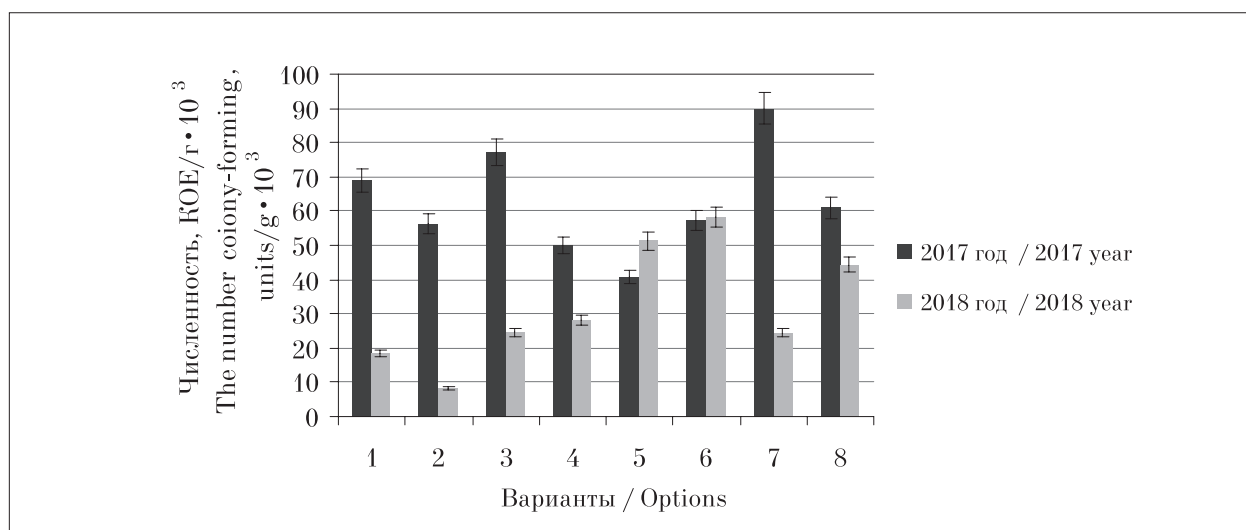


Рис. 5. Влияние предпосевной бактериализации семян на численность грибов в ризосфере лядвенца рогатого. Варианты опыта такие же, как на рисунке 1
Fig. 5. Influence of presowing seeds bacterization on the number of nitrogen fixers in the rhizosphere of *Lotus corniculatus*. Experience options are the same as in Figure 1

Таблица 1 / Table 1

Общая численность микроорганизмов в ризосферной почве
Total number of microorganisms in rhizosphere soil

Вариант Option	Численность микроорганизмов Number of microorganisms	
	КОЕ/г • 10 ³ Colony-forming units/g • 10 ³	+/- по отношению к контролю, % +/- relative to control, %
1. Контроль – без бактеризации Control – without bacterization	140,3±22,8	100,0
2. <i>Rhizobium loti</i>	125,1±10,3	-10,8
3. <i>Fischerella muscicola</i>	201,9±17,7	+43,9
4. <i>Streptomyces hygroscopicus</i>	188,5±13,7	+34,3
5. <i>F. muscicola</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	362,3±33,2	+158,2
6. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i>	362,3±38,5	+158,2
7. <i>Rh. loti</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	221,1±23,5	+57,5
8. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	356,7±43,8	+154,2

Таблица 2 / Table 2

Структура микробных комплексов (%) / Structure of microbial complexes (%)

Вариант Option	Аммонификаторы Ammonifiers	Азотфиксаторы Nitrogen fixers	Грибы Fungi
1. Контроль – без бактеризации Control – without bacterization	60,3	26,6	13,1
2. <i>Rhizobium loti</i>	82,2	11,2	6,6
3. <i>Fischerella muscicola</i>	61,6	26,1	12,3
4. <i>Streptomyces hygroscopicus</i>	61,2	23,7	15,1
5. <i>F. muscicola</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	52,0	33,7	15,5
6. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i>	55,6	28,3	16,1
7. <i>Rh. loti</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	61,4	28,0	10,6
8. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>S. hygroscopicus</i>	61,2	26,3	12,5

Фактическое снижение численности грибов зафиксировано почти во всех вариантах во второй год после микробной интродукции в почву (рис. 5).

Помимо численности отдельных физиологических групп МО, для характеристики биологической активности почвы иногда используют показатель общей численности микроорганизмов (ОЧМ). Дополнительное поступление различных групп МО в почву, связанное с инокуляцией семян, даже во второй год пользования в определённой степени стимулирует размножение изучаемых групп ризосферных МО. Максимальные показатели ОЧМ характерны для вариантов с бинарными смесями *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* А4, *Rh. loti* + *F. muscicola* и в варианте с тройной ассоциацией *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* А4, в которых данный показатель превышает контрольную величину на 158,2; 158,2; 154,2% соответственно (табл. 1).

Анализ структуры исследуемых микробных комплексов показывает, что доминирующим компонентом во всех вариантах являются аммонификаторы, доля которых колеблется от 52,0 до 82,2% (табл. 2).

Второй по значимости группой микроорганизмов являются азотфиксаторы, доля которых в структуре микробных комплексов колеблется от 11,2 до 33,7%. В качестве минорного компонента во всех вариантах выступают микромицеты, у которых доля участия в варианте с *Rh. loti* всего лишь 6,6%.

Заключение

Таким образом, результаты исследований по влиянию одинарных, бинарных и тройной ассоциаций микробов-интродуцентов на формирование урожая лядвенца рогатого несомненно показывают, что наиболее перспективными биологическими агентами для создания

комплексного препарата, предназначенного для увеличения урожайности лядвенца рогатого, являются бинарные ассоциации *Rh. loti* + *F. muscicola*, *Rh. loti* + *S. hygroscopicus* А4 и тройная *Rh. loti* + *F. muscicola* + *S. hygroscopicus* А4. В этих же вариантах отмечается максимальное количество клубеньков на корнях.

Предпосевная инокуляция семян штаммами микроорганизмов, изначально выделенных из почв Кировской области, *S. hygroscopicus* А4 и *F. muscicola*, при внесении их в почву фактически является не интродукцией, а реинтродукцией и не ингибирует развитие полезной аборигенной микрофлоры.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Литература

1. Андреева О.А., Кожевин П.А. Валидность методов фитотестирования при контроле микробных препаратов, полученных на основе естественных микробных сообществ // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии. Материалы междунар. симпозиума и молодёжной школы. М.: Геос, 2016. С. 317–318.
2. Андреева О.А., Кожевин П.А. Оптимизация естественного сообщества микроорганизмов почвы как способ создания микробных удобрений // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2014. № 4. С. 42–45.
3. Gamalero E., Glick Bernard R. Mechanisms used by plant growth promoting bacteria // *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management*. Berlin, Heidelberg, 2011. P. 17–46.
4. Lewis K., Epstein S., D'Onofrio A., Ling L.L. Uncultured microorganisms as a source of secondary metabolites // *J. Antibiotics*. 2010. No. 4. P. 1–9.
5. Kinkel L.L., Schlatter D.C., Bakker M.G., Arenz B.E. *Streptomyces* competition and co-evolution in relation to plant disease suppression // *Res. in Microbiol.* 2012. V. 163. P. 490–499.
6. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В., Зяблых Р.Ю., Устюжанин И.А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kütz. как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий рода *Rhizobium* // *Микробиология*. 2008. Т. 77. № 2. С. 266–272.
7. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ковина А.Л., Горностаева Е.А., Малыгина О.Н., Новокшенова Н.В. Влияние способов предпосевной обработки семян ляд-

венца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) на всхожесть и интенсивность образования клубеньков // *Теоретическая и прикладная экология*. 2014. № 3. С. 67–72.

8. Малыгина О.Н., Козылбаева Д.В., Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ковина А.Л., Товстик Е.В. Влияние интродукции в почву различных микроорганизмов на численность ризосферной микрофлоры лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Кн. 2. Киров, 2017. С. 92–97.

9. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ковина А.Л., Горностаева Е.А., Казакова Д.В., Субботина Е.С. Микробная интродукция и состояние почвенной аборигенной микрофлоры // *Теоретическая и прикладная экология*. 2015. № 2. С. 55–59.

10. Суховицкая Л.А., Сафронова Г.В., Клышко Г.М., Короленок И.В. Выживаемость *Rhizobium* в монокультуре и бинарных популяциях с ризосферными бактериями // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2002. Т. 38. № 1. С. 73–78.

11. Технология возделывания лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) на корм и семена / Под общей ред. М.И. Тумасовой. Киров, 2003. 39 с.

12. Гайфутдинова А.Р., Домрачева Л.И., Трефилова Л.В. Перспективы использования *Fischerella muscicola* и азид натрия для подавления развития *Fusarium solani* // *Теоретическая и прикладная экология*. 2013. № 2. С. 124–128.

13. Широких И.Г., Козлова Л.М., Широких А.А., Попова Ф.А., Товстик Е.В. Влияние способа обработки почвы и биопрепаратов на комплексы микромицетов в ризосфере и ризоплане яровой пшеницы // *Почвоведение*. 2017. № 7. С. 837–843.

14. Козылбаева Д.В., Малыгина О.Н., Трефилова Л.В., Ковина А.Л., Домрачева Л.И., Товстик Е.В. Влияние бактериальной инокуляции семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) на морфометрические показатели // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием*. Кн. 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 117–122.

15. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 266 с.

16. Зенова Г.М., Степанова А.Л., Лихачева А.А., Манучарова Н.А. Практикум по биологии почв. М.: Издательство МГУ, 2002. 120 с.

References

1. Andreeva O.A., Kozhevnikov P.A. Phytotesting methods validity for the control of microbial preparations derived from natural microbial communities // *Biodiagnostics and assessment of environmental quality: approaches, methods, criteria and reference standards in ecotoxicology*. Moskva: Geos, 2016. P. 317–318 (in Russian).

2. Andreeva O.A., Kozhevin P.A. Optimization of natural soil microbial communities as way to create a microbial fertilizers // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. 2014. No. 4. P. 42–45 (in Russian).
3. Gamalero E., Glick Bernard R. Mechanisms used by plant growth promoting bacteria // Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management. Berlin, Heidelberg, 2011. P. 17–46.
4. Lewis K., Epstein S., D'Onofrio A., Ling L.L. Uncultured microorganisms as a source of secondary metabolites // J. Antibiotics. 2010. No. 4. P. 1–9.
5. Kinkel L.L., Schlatter D.C., Bakker M.G., Arenz B.E. Streptomyces competition and co-evolution in relation to plant disease suppression // Res. in Microbiol. 2012. V. 163. P. 490–499.
6. Pankratova E.M., Trefilova L.V., Zyablykh R.Y., Ustyuzhanin I.A. Cyanobacteria *Nostoc paludosum* Kütz. as a basis for creation agronomical useful microbic associations on the example of sort *Rhizobium* bacteria // Microbiology. 2008. V. 77. No. 2. P. 266–272 (in Russian).
7. Domracheva L.I., Trefilova L.V., Kovina A.L., Gornostayeva E.A., Malygina O.N., Novokshonova N.V. Influence of ways of preseeding processing of seeds of *Lotus corniculatus* L. on viability and intensity of formation of klubenk // Theoretical and Applied Ecology. 2014. No. 3. P. 67–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-067-072.
8. Malygina O.N., Kozylbayeva D.V., Domracheva L.I., Trefilova L.V., Kovina A.L., Tovstik E.V. Influence of an introduction to the soil of different microorganisms on the number of rizosfernymicroflora of lyadvenets of horned (*Lotus corniculatus*) // Biodiagnostika of a status of natural and natural and technogenic systems: Materialy XV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Kn. 2. Kirov, 2017. P. 92–97 (in Russian).
9. Domracheva L.I., Trefilova L.V., Kovina A.L., Gornostayeva E.A., Kazakova D.V., Subbotina E.S. Microbic introduction and status of soil native microflora // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No. 2. P. 55–59 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-2-042-055-059.
10. Sukhovitskaya L.A., Safronova G.V., Klyshko G.M., Korolenok N.V. Survival of *Rhizobium* in monoculture and binary population with rhizospere bacteria // Applied biochemistry and microbiology. 2002. V. 38. No. 1. P. 73–78 (in Russian).
11. Technology of cultivation of lyadvenets horned (*Lotus corniculatus* L.) on a forage and seeds (under the general editorship of to. agricultural sciences of M.I. Tumasova). Kirov, 2003. 39 p. (in Russian).
12. Gayfutdinova A.R., Domracheva L.I., Trefilova L.V. Perspectives of use of *Fischerella muscicola* and azide of sodium for suppression of development of *Fusarium solani* // Theoretical and Applied Ecology. 2013. No. 2. P. 124–128 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-124-128.
13. Shirokikh I.G., Kozlova L.M., Shirokikh A.A., Popov F.A., Tovstik E.V. Influence of the method of soil treatment and biological products on the complexes of micromycetes in the rhizosphere and rhizoplane of spring wheat // Pochvovedenie. 2017. No. 7. P. 837–843 (in Russian).
14. Kozylbayeva D.V., Malygina O.N., Trefilova L.V., Kovina A.L., Domracheva L.I., Tovstik E.V. Influence of a bacterial inokulyation of seeds of lyadvenets of horned (*Lotus corniculatus*) on morphometric indicators // Biodiagnostika of a status of natural and natural and technogenic systems: Materialy KhV Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem. Kn. 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 117–122 (in Russian).
15. Zhurbetski Z.I. Theory and practice of vegetation method. Moskva: Science, 1968. 266 p. (in Russian).
16. Zenova G.M., Stepanova A.L., Likhacheva A.A., Manucharova N.A. Workshop on biology of soils. Moskva: MGU, 2002. 120 p. (in Russian).

Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений

© 2019. Н. Е. Завьялова¹, д. б. н., зав. лабораторией,
И. Г. Широких^{2,3}, д. б. н., профессор,
А. И. Косолапова¹, д. с.-х. н., гл. н. с., А. А. Широких^{2,3}, д. б. н., профессор,
¹Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения академии наук,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Ленина, 13 а,
²ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого,
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а,
³Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
e-mail: nezavyalova@gmail.com, irgenal@mail.ru

Исследованы микробиологические показатели и характер трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы по окончании пяти ротаций восьмипольного севооборота в длительном стационарном полевом опыте (1978–2017 гг.). Определена направленность микробиологических процессов, обусловленная воздействием длительного внесения минеральных удобрений в возрастающих дозах – от (НПК)30 до (НПК)150 кг д.в./га. Проведено сравнение пахотной почвы с её целинными аналогами под непосредственно примыкающими к опытному полю смешанным лесом и естественным злаково-разнотравным лугом, а также с почвой под сеяным травостоем козлятника восточного (*Galegae orientalis* L.). Установлено, что различное использование дерново-подзолистой почвы привело к изменению направленности почвенных микробных процессов. Распахивание почвы снизило содержание общего гумуса и увеличило количество и разнообразие актиномицетов, принимающих участие в минерализации полуразложившихся растительных остатков – детрита. В вариантах с внесением минеральных удобрений под зерновые культуры севооборота в дозах (НПК) 90 – 150 кг д.в./га наблюдали сохранение исходного содержания гумуса и снижение индексов педотрофности по сравнению с целинными аналогами и пахотной почвой без удобрений или получавшей удобрения в низких дозах. При длительном возделывании многолетней бобовой культуры козлятника восточного без внесения удобрений в почве создаются благоприятные условия для формирования микробного ценоза, по количественным и качественным показателям близкого к микробоценозу целинной почвы, стабилизируется её гумусное состояние.

Ключевые слова: эколого-трофические группы, микроорганизмы, севооборот, целина, *Galegae orientalis* L., минеральные удобрения, гумус.

Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Pre-Urals under conditions of different use and application of mineral fertilizers

© 2019. N. E. Zavyalova¹ ORCID 0000-0003-4005-8998, I. G. Shirokikh^{2,3} ORCID 0000-0002-3319-2729,
A. I. Kosolapova¹ ORCID 0000-0002-9929-4488, A. A. Shirokikh^{2,3} ORCID 0000-0002-7808-0376,
¹Perm Federal research centre Ural branch of the Academy of Sciences,
13a, Lenina St., Perm, Russia, 614990,
²Federal Scientific Agricultural Center of the North-East,
166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,
³Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: nezavyalova@gmail.com, irgenal@mail.ru

Microbiological parameters and character of transformation of humic substances of sod-podzolic soil at the end of five rotations of eight-full crop rotation in long-term stationary field experiment (1978–2017) are investigated. The direction of microbiological processes due to the effect of long-term application of mineral fertilizers in increasing doses – 30 to 150 kg/ha of NPK was determined. A comparison of the arable soil with its virgin analogs (mixed forest and natural meadow) as well as with the planting of goatling (*Galegae orientalis* L.). It was found that the different use of sod-podzolic soil led to a change in the direction of soil microbial processes. Plowing the soil reduced the content of total humus and increased the number and variety of actinomycetes involved in the mineralization of semi-decomposed plant residues, i. e. detritus. In the variants with application of mineral fertilizers for cereal crops in doses 90–150 kg/ha of NPK it was observed the preservation of the original content of humus and a decrease of the index of pedotrophy compared to virgin counterparts and arable soil without fertilizers or treated with fertilizer in low doses. With the long-term cultivation of perennial leguminous culture without applying fertilizers, a microbial community is formed in the soil which is close in terms of quantitative and qualitative indicators to the microbial community of virgin soil analogs and its humus state is stabilized.

Keywords: ecological and trophic groups, microorganisms, crop rotation, virgin soil analogs, *Galegae orientalis* L., mineral fertilizers, humus.

Органическое вещество почвы – это совокупность живой биомассы и органических остатков растений, животных и микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных органических веществ почвы – гумуса. Содержание гумуса и запасы органического вещества являются традиционными показателями плодородия и экологической устойчивости почвы [1]. Концентрируя и перераспределяя энергию солнца, органическое вещество обеспечивает жизнедеятельность почвенных организмов, выполняющих значительную механическую работу, а также биохимические и химические реакции, составляющие основу почвообразования. Гумус является одновременно аккумулятором и источником энергии для протекающих в почве процессов, поддерживая нормальный обмен и круговорот энергии и вещества в агроландшафте [2].

Содержание гумусовых веществ в почве зависит от количества и состава поступающих органических остатков, скорости их гумификации и минерализации. Приходная часть гумусового баланса в агроэкосистемах складывается в основном за счёт гумификации растительных остатков (пожнивных и корневых) и внесения органических удобрений. Поступающее в почву органическое вещество перерабатывается в трофических цепях, конечным деструктивным звеном которых являются микроскопические грибы и бактерии. Они осуществляют минерализацию органических веществ с возвратом углекислого газа в атмосферу.

Одновременно с деструкцией микроорганизмы участвуют в процессах гумификации: синтезируют соединения, которые служат структурными компонентами молекул гумусовых веществ, а также производят фенолоксиды, которые окисляют полифенолы до

хинонов с последующей конденсацией в гумус [3, 4]. Гумификация, по В. И. Вернадскому, представляет собой один из важнейших биосферных процессов, поскольку позволяет сохранить баланс между минерализацией и консервацией органических остатков, необходимых для стабильного существования биоты, обеспечивая единство «живого и гумуса» [5].

В последние десятилетия для большинства почв сельскохозяйственных угодий большое значение приобрела проблема, связанная с увеличением интенсивности разложения органического вещества почв и развитием процессов дегумификации. Основная причина дегумификации окультуренных почв – применение систем земледелия, которые не могут обеспечить положительный или бездефицитный баланс питательных веществ и гумуса. Отрицательный годовой баланс гумуса крайне опасен в экологическом отношении, поскольку гумус – один из главных аккумуляторов солнечной энергии на поверхности Земли и гарант продуктивности, обеспечивающий экологическую устойчивость биосферы в целом [2, 6].

В России проблему дегумификации почв связывают со снижением уровня агротехники в период экономической дестабилизации и отсутствием контроля за биологическими и биохимическими процессами в почве. В случае непринятия необходимых превентивных мер в ближайшем будущем потери гумуса могут стать экологическим бедствием. Для разработки мер, препятствующих развитию этой негативной тенденции, необходимы исследования, направленные на выявление связей между направленностью процессов трансформации органического вещества почвы и её микробиологическими показателями.

Действие различных биологических и агротехнических факторов на плодородие

почвы и продуктивность растений становится очевидным, как правило, лишь по истечении десятков лет [7–9]. Поэтому особую ценность представляют исследования, выполненные в длительных (более 20 лет) полевых стационарах. В условиях длительного стационара действие изучаемого фактора аккумулируется во времени на фоне изменения факторов окружающей среды, что позволяет решать специфические проблемы земледелия и экологии для конкретной почвенно-климатической зоны.

Цель данной работы – получение и сопоставление информации о состоянии микробных ценозов и гумуса в целинных и пахотных дерново-подзолистых почвах Предуралья, в том числе при внесении минеральных удобрений.

Объекты и методы

Изучение процессов трансформации органического вещества и количественного состава эколого-трофических групп микроорганизмов проводили в почве длительного стационарного опыта, заложенного в 1978 г. на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве опытного поля Пермского Федерального исследовательского центра УрО РАН. Схема опыта включала следующие варианты длительного применения возрастающих доз полного минерального удобрения (кг д.в./га): 1. Без удобрений (контроль); 2. (NPK)30; 3. (NPK)60; 4. (NPK)90; 5. (NPK)120; 6. (NPK)150. Размещение вариантов рендомизированное. Общая площадь делянки 120 м², учётная – 76,4 м². В качестве удобрений использовали аммиачную селитру или мочевины, простой суперфосфат и хлористый калий.

Образцы почвы отбирали на глубине 0–20 см по окончании пяти ротаций восьмипольного севооборота, на двух не смежных повторениях после уборки последней культуры севооборота – овса (*Avena sativa* L.) сорта Стайер.

Пахотные почвы сравнивали с целинной дерново-подзолистой почвой на непосредственно примыкающих к опытному полю института стационарных участках под смешанным лесом, злаково-разнотравным лугом, а также с бессменным посевом многолетней бобовой культуры – козлятника восточного (*Galegae orientalis* L.) сорта Гале. Посев козлятника с 1988 г. не удобряется, но используется для получения семян. Солома после уборки семян отчуждается. Образцы почвы

на этих участках отбирали на ту же глубину и в те же сроки (в первой декаде сентября), что и на делянках полевого севооборота.

Для оценки направленности и интенсивности процессов трансформации органического вещества в образцах почв проводили определение комплекса наиболее информативных показателей состояния почвы в соответствии с общепринятыми методами: гумус – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, общий азот – по Къельдалю, трудно- и легкогидролизуемый азот – по Шконде и Королевой, нитратный – потенциометрически, аммиачный – фотометрически по методу ЦИНАО, фракционно-групповой состав гумуса – по методу Тюрина в модификации Пономарёвой-Плотниковой.

Для характеристики почвенных микробценозов определяли численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов. Усваивающие органические формы азота (аммонифицирующие) микроорганизмы учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА), усваивающие минеральные источники азота – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), целлюлозолитики – на агаре Гетчинсона с фильтровальной бумагой, олиготрофные – на почвенном агаре (ПА), актиномицеты – на казеин-глицериновом агаре (КА), микроскопические грибы – на агаре Чапека (ЧА) [10]. Для характеристики изменений в структуре почвенного микробного сообщества рассчитывали коэффициенты минерализации (КАА/МПА) и педотрофности (ПА/МПА) [11].

В качестве модельной группы микроорганизмов для выявления структурных перестроек микробного сообщества использовали актиномицеты. Определение видовой структуры комплексов актиномицетов проводили при выделении на КА, с учётом частоты встречаемости и обилия видов. Дифференцировали и учитывали количественно все цветочные группы актиномицетов (секции и серии) [12]. Морфологию клеток изучали на живых препаратах при микроскопировании – объективы 20 и 40, окуляр 10, микроскоп Leica DM 2500 (Германия).

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием встроенного пакета программ EXCEL.

Результаты и обсуждение

Пахотные дерново-подзолистые почвы по своей природе характеризуются много-

численными свойствами, унаследованными от исходных целинных и, частично, приобретёнными под влиянием хозяйственной деятельности человека. Почвы смешанного хвойно-широколиственного леса и злаково-разнотравного луга в слое 0–20 см характеризовались повышенной кислотностью (pH_{KCl} 3,8 и 4,8 соответственно) и низким содержанием гумуса (2,70 и 2,15% соответственно), что характерно для дерново-подзолистых почв. Распашка и длительное применение полного минерального удобрения (NPK) привели не только к изменению начальных агрохимических параметров дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, но и сопровождалась увеличением численности всех учитываемых эколого-трофических групп микроорганизмов по сравнению с целинными аналогами, как под смешанным лесом, так и под злаково-разнотравным лугом (табл. 1). Обогащённость пахотной почвы аммонифицирующими и олиготрофными микроорганизмами, в соответствии с оценочной шкалой [11], даже без внесения удобрений, достигла градации «средняя», а в отношении микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, продолжала соответствовать градации «бедная». При длительном внесении полного минерального удобрения в возрастающих дозах увеличение численности аммонифицирующих и целлюлозолитических микроорганизмов, актиномицетов, микроскопических грибов прослеживалось в диапазоне доз от (NPK) 30 до (NPK) 120 кг д.в./га. Повышение дозы туков от (NPK) 120 до (NPK) 150, напротив, сопровождалось снижением численности основных эколого-трофических групп. При этом степень обогащённости почвы микроорганизмами соответствовала градации «бедная», характерной для целинных дерново-подзолистых почв.

Содержание гумуса в пахотной почве без удобрений (1,80%) за сорокалетний период использования в севооборотах уменьшилось на 18,9% от исходного (2,22%). Потери органического вещества обусловлены интенсивной минерализацией трансформируемых активных компонентов гумуса при малом количестве свежего органического вещества, поступающего в почву при возделывании сельскохозяйственных культур без подкормки. насыщение почвы минеральными удобрениями в дозах от (NPK) 60 до (NPK) 150 кг д.в./га способствовало сохранению исходного содержания гумуса в почве на уровне 2,06–2,16%. По мнению ряда исследователей [13, 14], процессы минерализации гумусовых веществ

обусловлены биохимической деятельностью специфической автохтонной микрофлоры, вырастающей на ПА. Автохтонные микроорганизмы обладают способностью расщеплять углеводы наиболее стойких циклических и гетероциклических связей. Между численностью микроорганизмов, учтённых на ПА, и содержанием гумуса выявлена наиболее тесная в опыте отрицательная корреляция ($r = -0,89$; $p < 0,001$). Другие исследователи возражают против специализации микроорганизмов в разложении гумуса и связывают эти процессы с деятельностью широкого круга микроорганизмов [15]. В пользу этих представлений говорят отрицательные значения коэффициентов корреляции между содержанием в почве гумуса и численностью аммонифицирующих ($r = -0,69$; $p < 0,04$) и усваивающих минеральные формы азота ($r = -0,83$; $p < 0,005$) микроорганизмов (рис. 1). Ранее отмечалось, что при дефиците минерального азота численность аммонифицирующей микрофлоры и скорость микробного разложения органического вещества в почве увеличиваются [16, 17]. Для извлечения азота из труднодоступных соединений микроорганизмы активно используют богатые энергией субстраты, например, лабильные фракции углерода. Между содержанием в почве водорастворимого органического вещества (C_{H_2O}) и численностью аммонифицирующих ($r = -0,75$; $p < 0,02$), а также иммобилизующих минеральный азот ($r = -0,85$; $p < 0,003$) бактерий в исследуемой дерново-подзолистой почве установлена тесная обратная связь. В достоверной обратной зависимости от содержания в почве извлекаемых щелочью ($C_{0,1N NaOH}$) и пирофосфатом натрия ($C_{0,1M Na_4P_2O_7}$) фракций лабильного органического вещества находится также численность бактерий, вырастающих на КАА и ПА.

Коэффициент минерализации (КАА/МПА), отражающий интенсивность мобилизации азота, в пахотной почве без удобрений (0,91) увеличился по сравнению с почвой под лесом (0,75), а по сравнению с почвой под злаково-разнотравным лугом (1,29), напротив, стал существенно ниже (табл. 2). Аналогичные изменения при распашке почвы произошли и с индексом педотрофности (ПА/МПА), характеризующим развитие в почве автохтонной микрофлоры или «микрофлоры рассеяния», способной довольствоваться незначительным количеством питательных веществ. Численность вырастающих на ПА микроорганизмов отрицательно коррелировала с содержанием в почве общего азота

Таблица 1 / Table 1

Количество микроорганизмов в целинных и пахотных дерново-подзолистых почвах при внесении полного минерального удобрения
The number of microorganisms in virgin and arable sod-podzolic soils with the introduction of full mineral fertilizer

Вариант Variant	Общая численность на средах The total number on the medium				Целлюлолитики Cellulolytics		Актиномицеты Actinomycetes	Микромицеты Micromycetes
	МПА / МРА	КАА / КАА	ПА / РА	тыс. КОЕ/г воздушно-сухой почвы / thousand CFU/g of air dry soil				
	1392±329	4075±316	1383±662	71±31	467±344			
Лес/ Forest	1492±284	1958±946	3017±1436	187±74	167±163	78±37	25±12	
Пашня: / Arable:	(NPK) 0	3700±880	5567±686	140±37	717±264	12±10	40±17	
	(NPK) 30	3767±688	4800±447	178±106	983±365	78±72	45±30	
	(NPK) 60	3750±2224	4417±2599	202±67	1717±129	117±54	90±37	
	(NPK) 90	3175±765	2750±1007	103±26	2900±1711	43±8		
	(NPK) 120	5300±912	4183±997	221±110	2500±626			
	(NPK) 150	2958±1175	2033±1426	127±46	1767±1612			
Козлятник восточный/ <i>Galega orientalis</i> L.	1383±944	1592±1019	1217±585	98±38	167±121			

Таблица 3 / Table 3

Структура комплексов актиномицетов в целинных и пахотной дерново-подзолистых почвах при внесении полного минерального удобрения
The structure of actinomycete complexes in virgin and arable sod-podzolic soils with the introduction of full mineral fertilizer

Вариант Variant	Частота встречаемости / долевое участие видов Frequency / abundance of species							Индекс Шеннона, Shannon Index, H	
	секций и серий рода <i>Streptomyces</i> sections and series of the genus <i>Streptomyces</i>								
	Cinereus			Albus	Helvulus	Imperfectus			
	Achromo genes	Chromo genes	Aureas	Violaceus	рода of the genus <i>Micromonospora</i>				
Лес/ Forest	83/35,7	66/10,7	17/3,6	0	17/7,2	33/10,7	17/7,1	83/25,0	2,435
Луг/ Meadow	17/10,0	0	0	0	17/20,0	0	50/60,0	17/10,0	1,570
Пашня: / Arable:	(NPK) 0	50/11,6	66/11,7	0	17/2,4	0	66/27,9	33/13,9	2,238
	(NPK) 30	100/42,3	50/10,2	33/5,1	66/6,8	50/6,8	33/5,1	83/18,6	2,498
	(NPK) 60	100/23,3	83/11,6	33/3,9	83/13,6	50/4,8	50/3,9	50/3,9	2,580
	(NPK) 90	100/27,0	83/6,3	33/2,9	66/4,0	33/1,1	100/33,9	83/14,9	2,443
	(NPK) 120	100/23,4	83/5,5	83/15,3	83/8,8	66/4,8	83/19,9	66/10,8	2,823
	(NPK) 150	83/19,8	66/8,5	33/1,9	66/8,5	17/0,9	66/49,1	33/6,6	2,208
Козлятник восточный/ <i>Galega orientalis</i> L.	17/10,0	0	17/10,0	0	33/20,0	0	33/20,0	33/40,0	2,121

Таблица 2 / Table 2

Показатели, характеризующие направленность микробиологической трансформации органического вещества почвы
 Indicators characterizing the direction of microbiological transformation of soil organic matter

Вариант Variant	Коэффициент минерализации (КАА/МПА) Coefficient of mineralization (КАА/МПА)	Индекс педотрофности (ПА/МПА) Pedotrophic Index (РА/МПА)	Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, % The proportion of actinomycetes in the prokaryotic complex, %
Лес/ Forest	0,75	0,99	16,8
Луг/ Meadow	1,29	2,02	8,5
Пашня: /Arable:			
(NPK) 0	0,91	1,38	14,5
(NPK) 30	0,81	1,27	20,2
(NPK) 60	0,92	1,18	24,0
(NPK) 90	1,05	0,87	28,5
(NPK) 120	0,65	0,79	25,8
(NPK) 150	0,82	0,69	24,0
Козлятник восточный/ <i>Galegae orientalis</i> L.	1,11	0,88	16,9

($r = -0,82$; $p < 0,006$) и гумуса ($r = -0,89$; $p < 0,001$) (рис. 1, см. цв. вкладку). В севооборотной почве без удобрений наблюдали снижение значения индекса педотрофности (1,38) по сравнению с почвой под лугом (2,02), но повышение по сравнению с почвой под лесом (0,99) (табл. 2).

Среди хозяйственно освоенных почв наиболее высоким коэффициентом минерализации (1,11), при умеренном значении индекса педотрофности (0,88), отличался вариант с бесменным посевом козлятника восточного. Очевидно, биологическая азотфиксация под многолетней бобовой культурой обусловила достаточно высокую обеспеченность почвы аммиачным азотом. За счёт пожнивно-корневых остатков с высоким содержанием азота и зольных элементов в их составе содержание гумуса в этом варианте повысилось от 2,23% при закладке опыта до 2,49%. При этом кислотность почвы за период возделывания козлятника осталась на исходном уровне (pH_{KCl} 4,9), тогда как в севооборотной почве без удобрений выявлена тенденция к подкислению (на 0,5 единиц pH_{KCl}), а в варианте с внесением (NPK) 150 реакция среды в пахотном слое изменилась с pH_{KCl} 5,6 при закладке опыта до pH 4,5 при окончании пятой ротации восьмипольного севооборота. Длительное возделывание козлятника восточного без использования минеральных удобрений, таким образом, приближает почву к устойчивому состоянию природных экосистем.

Роль основных деструкторов растительного опада принадлежит в почве микроскопическим грибам. В литературе отмечается, что микромицеты более чувствительны к изменениям в землепользовании, чем бактерии, в результате чего их доля в микробном сообществе окультуренных почв значительно ниже, чем в их целинных аналогах [18]. Численность грибных пропагул в исследуемых целинных и севооборотных почвах изменялась в пределах десятков тысяч КОЕ/г и лишь в варианте с внесением (NPK) 120 была выше на порядок (табл. 1). Установлена достаточно тесная ($r = 0,68$; $p < 0,04$) положительная связь между численностью микроскопических грибов и содержанием в почве гуминовых кислот (рис. 1). Очевидно, это связано с тем, что синтезируемые микромицетами циклические молекулы меланинов служат основой для построения периферических компонентов гумусовых соединений [16]. Кроме того, численность грибных пропагул в дерново-подзолистой почве положительно коррелировала с такими агрохимическими показателями как содержание минерального азота ($r = 0,68$; $p < 0,04$), а также содержание трудногидролизуемой ($r = 0,87$; $p < 0,002$) и легкогидролизуемой ($r = 0,79$; $p < 0,011$) фракций азота.

Грибные группировки представлены в почве различными родами дейтеромицетов и быстрорастущими видами порядка Mucorales, основу питания которых составляет легкогидролизуемая органика. В популяциях

микромикетов целинных почв доминировали, составляя основной фон, виды рода *Acremonium*, тогда как в почве под лугом встречались также пенициллы и представители рода *Stemphilium* (рис. 2, см. цв. вкладку). В почве под козлятником восточным, наряду с *Acremonium*, доминировали различные виды рода *Penicillium*, часто встречались мукооровые грибы. При распашке разнообразие грибов по сравнению с целинными почвами увеличивалось за счёт появления видов из родов *Aspergillum*, *Penicillium*, *Stemphilium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, типичных для дерново-подзолистых почв данной природно-климатической зоны. При длительном внесении полного минерального удобрения в возрастающих дозах на доминирующие позиции выходят грибы рода *Trichoderma*, а представители рода *Mucor* встречаются лишь в качестве минорного компонента грибного комплекса.

Наряду с грибами в минерализации органических остатков активно участвуют микелиальные прокариоты – актиномицеты. По степени их развития в почве можно судить, на какой стадии минерализации находится почвенный детрит [14]. Целинные почвы под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом значительно различались между собой по структуре актиномицетных комплексов, обусловленной количеством и качеством поступающего в почву растительного опада. Если в почве под лесом отмечены представители шести различных цветовых секций и серий рода *Streptomyces* и микромоноспоровые виды, то актиномицетный комплекс почвы под лугом включал стрептомицеты лишь трёх секций и серий, а микромоноспоры в почве луга встречались как типичные редкие виды (табл. 3). При переходе от целинных к почвам пахотным произошло расширение видового спектра стрептомицетов до пяти секций и серий в варианте без удобрений, и до семи – в вариантах с внесением полного минерального удобрения в возрастающих дозах. В почве под козлятником восточным, длительно не получавшей удобрения, актиномицетный комплекс отличался отсутствием видов из секций и серий *Cinereus Chromogenes*, *Cinereus Violaceus* и секции *Helvolus*, что сближает его с комплексом целинной почвы под злаково-разнотравным лугом. Для обеих почв характерно также отсутствие выраженных доминантов. В то же время почва под козлятником отличалась от целинной более высоким видовым разнообразием актиномицетов. Индекс Шеннона (H), отражающий не только количество

выделяемых таксонов, но и обилие каждого, в почве под козлятником (H = 2,121) лишь незначительно уступал значениям H в почве удобренных вариантов (H = 2,208–2,823), в то время как видовое разнообразие в целинной почве злаково-разнотравного луга составило всего H = 1,570. К числу видов-индикаторов обеспеченности дерново-подзолистой почвы минеральными элементами питания, таким образом, можно отнести представителей секций и серий *Cinereus Violaceus* и секции *Helvolus*, встречающихся только в вариантах с внесением минеральных удобрений и отсутствующих, либо редких в почвах целинных аналогов.

Долевое участие актиномицетов в комплексе бактерий целинных почв под лесом (16,8%) и лугом (8,5%), а также пахотной почвы без удобрений (14,5%) и почвы под козлятником восточным (16,9%) ниже, чем в пахотной дерново-подзолистой почве, длительно получающей полное минеральное удобрение (20,2–28,5% в зависимости от дозы) (табл. 2). Прослеживается положительная корреляция между долей стрептомицетов в прокариотном комплексе и содержанием в почве гумуса ($r = 0,77$; $p < 0,01$). Численность стрептомицетов тесно связана с содержанием минерального азота ($r = 0,83$; $p < 0,005$), а их видовое разнообразие (индекс Шеннона) находится в прямой зависимости от содержания в почве азота трудногидролизуемого ($r = 0,68$; $p < 0,04$) (рис. 1). Среди актиномицетов широко распространена способность продуцировать внеклеточные ферменты – экзогидролазы, которые обеспечивают им возможность использовать для получения азота трудногидролизуемые соединения углерода. Таким образом, значительное присутствие в микробных комплексах актиномицетов указывает на относительно поздние стадии деградации органического вещества, большую обеспеченность почвы минеральным азотом и, в целом, высокую степень трансформированности органического вещества почвы.

Заключение

В результате выполненных исследований для тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почвы Предуралья, используемой на протяжении сорока лет в севообороте с внесением полного минерального удобрения, выявлен тренд к увеличению доли бактерий в соотношении грибов и бактерий в составе почвенного микробного сообщества. С использованием актиномицетов в качестве модельной группы

микроорганизмов выявлены изменения в составе самого бактериального сообщества. Сопоставление результатов определения гумусности, фракционного анализа органического вещества и оценки состояния микробного сообщества позволило установить, что в условиях достаточной обеспеченности элементами минерального питания сохранность органического вещества почвы повышается, поскольку процессы микробного разложения стойких соединений углерода подавлены. Об этом свидетельствует наблюдаемая в длительном стационарном опыте сохранность исходного содержания гумуса в почве на уровне 2,06–2,16%. Таким образом, внесение в почву полного минерального удобрения в долгосрочной перспективе способствует замедлению темпов разложения гумуса и увеличению в его составе трудногидролизующих фракций.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости сосредоточиться в дальнейших исследованиях на факторах, контролируемых формированием почвенного микробного сообщества (тип почвы, растительность, удобрения, агротехника и пр.), что позволит расширять наше понимание микробного вклада в пул органического вещества почвы, приблизиться к пониманию процессов формирования и стабилизации запасов органического вещества в почве.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-45-590166 р-а «Теоретические и прикладные аспекты трансформации органического вещества и азота пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья».

Литература

1. Почвы в биосфере и жизни человека / Под ред. Г.В. Добровольского, Г.С. Куста, В.Г. Санаева. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. 584 с.
2. Howarth W. Carbon cycling and formation of organic matter // *Soil microbiology, ecology, and biochemistry* / Ed. E.A. Paul. Amsterdam: Academic Press, 2007. P. 303–340.
3. Звягинцев Д.Г. Структура и функционирование комплекса почвенных микроорганизмов // Структурно-функциональная роль почвы и почвенной биоты в биосфере. М.: Наука, 2003. С. 102–114.
4. Chu H., Lin X., Fujii T., Morimoto S., Yagi K., Hu J. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term

fertilizer management // *Soil Biol Biochem.* 2007. V. 39. P. 2971–2976.

5. Вернадский В.И. Углерод и живое вещество в земной коре // *Очерки геохимии. Избранные сочинения.* М.: Изд-во АН СССР, 1954. Ч. 1. С. 147–223.
6. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Академический Проект, 2004. 432 с.
7. He J.Z., Zheng Y., Chen C.R., He Y.Q., Zhang L.M. Microbial composition and diversity of an upland red soil under long-term fertilization treatments as revealed by culture-dependent and culture-independent approaches // *J. Soil Sediments.* 2008. V. 8. P. 349–358.
8. Nemergut D. R., Townsend A.R., Sattin S.R., Freeman K.R., Fierer N., Neff J. C., Schmidt S.K. The effects of chronic nitrogen fertilization on alpine tundra soil microbial communities: implications for carbon and nitrogen cycling // *Environmental microbiology.* 2008. V. 10 (11). P. 3093–3105.
9. Cruz A.F., Hamel C., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // *Plant Soil.* 2009. V. 315. P. 173–184.
10. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 603 с.
11. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробного сообщества почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. 64 с.
12. Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. М.: Наука, 1983. 248 с.
13. Иутинская Г.А. Почвенная микробиология: учеб. пособие. Киев: Аристей, 2006. 284 с.
14. Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 256 с.
15. Carballas M., Reisinger O., Kilbertus G. Microflora y materia organica reconocible en suelos de Praderia. III. Estaciones mesofilas. Conclusiones generales // *Anales de edafologia y agrobiologia.* 1984. V. 42. No. 9–10. P. 1499–1508.
16. Fontaine S., Barot S. Size and functional diversity of microbe populations control plant persistence and long-term soil carbon accumulation // *Ecol Lett.* 2005. V. 8. P. 1075–1087.
17. Moorhead D.L., Sinsabaugh R.L. A theoretical model of litter decay and microbial interaction // *Ecol. Monogr.* 2006. V. 76. P. 151–174.
18. Jolivet C., Angers D.A., Chantigny M.H., Andreux F., Arrouays D. Carbohydrate dynamics in particle-size fractions of sandy spodosols following forest conversion to maize cropping // *Soil Biol Biochem.* 2006. V. 38. P. 2834–2842.

References

1. Soils in the biosphere and human life / Eds. G.V. Dobrovolskiy, G.S. Bush, V.G. Sanaev. Moskva: FGBOU VPO MGUL, 2012. 584 p. (in Russian).
2. Howarth W. Carbon cycling and formation of organic matter // Soil microbiology, ecology, and biochemistry / Ed. E.A. Paul. Amsterdam: Academic Press, 2007. P. 303–340.
3. Zvyagintsev D.G. Structure and functioning of a complex of soil microorganisms // Structural and functional role of soil and soil biota in the biosphere. Moskva: Nauka, 2003. P. 102–114 (in Russian).
4. Chu H., Lin X., Fujii T., Morimoto S., Yagi K., Hu J. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management // Soil Biol Biochem. 2007. V. 39. P. 2971–2976.
5. Vernadsky V.I. Carbon and living matter in the earth's crust // Sketches of geochemistry. Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1954. Part 1. P. 147–223 (in Russian).
6. Rozanov B.G. Soil morphology. Moskva: Akad. Proyekt. 2004. 432 p. (in Russian).
7. He J.Z., Zheng Y., Chen C.R., He Y.Q., Zhang L.M. Microbial composition and diversity of an upland red soil under long-term fertilization treatments as revealed by culture-dependent and culture-independent approaches // J. Soil Sediments. 2008. V. 8. P. 349–358.
8. Nemergut D.R., Townsend A.R., Sattin S.R., Freeman K.R., Fierer N., Neff J.C., Schmidt S.K. The effects of chronic nitrogen fertilization on alpine tundra soil microbial communities: implications for carbon and nitrogen cycling // Environmental microbiology. 2008. V. 10 (11). P. 3093–3105.
9. Cruz A.F., Hamel C., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // Plant Soil. 2009. V. 315. P. 173–184.
10. Workshop in Microbiology / Ed. A.I. Netrusov. Moskva: Akademiya, 2005. 603 p. (in Russian).
11. Titova V.I., Kozlov A.V. Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: a scientific and methodological guide. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod Agrarian Academy, 2012. 64 p. (in Russian).
12. Gauze G.F., Preobrazhenskaya T.P., Sveshnikova M.A., Terekhova L.P., Maksimova T.S. Manual of actinomycetes. Genus *Sreptomycetes*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. Moskva: Nauka, 1983. 248 p. (in Russian).
13. Iutinskaya G.A. Soil Microbiology: tutorial. Kiev: Aristey, 2006. 284 p. (in Russian).
14. Mishustin E.N. Association of soil microorganisms. Moskva: Nauka, 1975. 256 p. (in Russian).
15. Carballas M., Reisinger O., Kilbertus G. Microflora y materia organica reconocible en suelos de Praderia. III. Estaciones mesofilas. Conclusiones generales // Anales de edafologia y agrobiologia. 1984. V. 42. No. 9–10. P. 1499–1508 (in Spanish).
16. Fontaine S., Barot S. Size and functional diversity of microbe populations control plant persistence and long-term soil carbon accumulation // Ecol. Lett. 2005. V. 8. P. 1075–1087.
17. Moorhead D.L., Sinsabaugh R.L. A theoretical model of litter decay and microbial interaction // Ecol. Monogr. 2006. V. 76. P. 151–174.
18. Jolivet C., Angers D.A., Chantigny M.H, Andreux F., Arrouays D. Carbohydrate dynamics in particle-size fractions of sandy spodosols following forest conversion to maize cropping // Soil Biol Biochem. 2006. V. 38. P. 2834–2842.

**Н. Е. ЗАВЬЯЛОВА, И. Г. ШИРОКИХ, А. И. КОСОЛАПОВА, А. А. ШИРОКИХ
МИКРОБНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРЕДУРАЛЬЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ И ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ, С. 102**

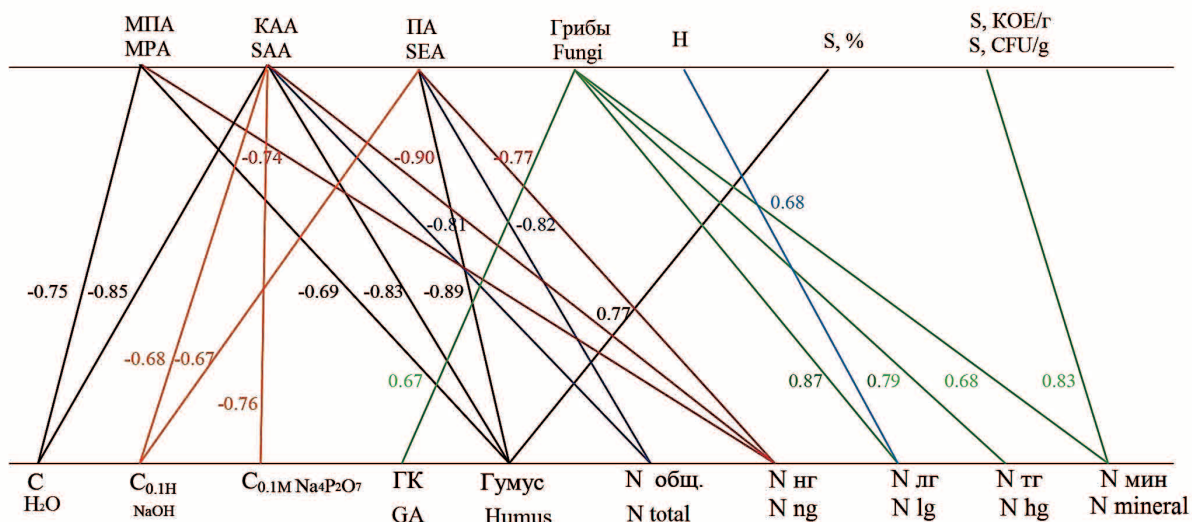


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между показателями, характеризующими состояние органического вещества и микробиоценоз дерново-подзолистой почвы:

Н – индекс Шеннона, S – стрептомицеты, ГК – гуминовые кислоты
Fig. 1. Correlation coefficients between indicators characterizing the state of organic matter and the microbiocenosis of sod-podzolic soil:
 Н – the Shannon index, S – Streptomyces, GA – humic acids

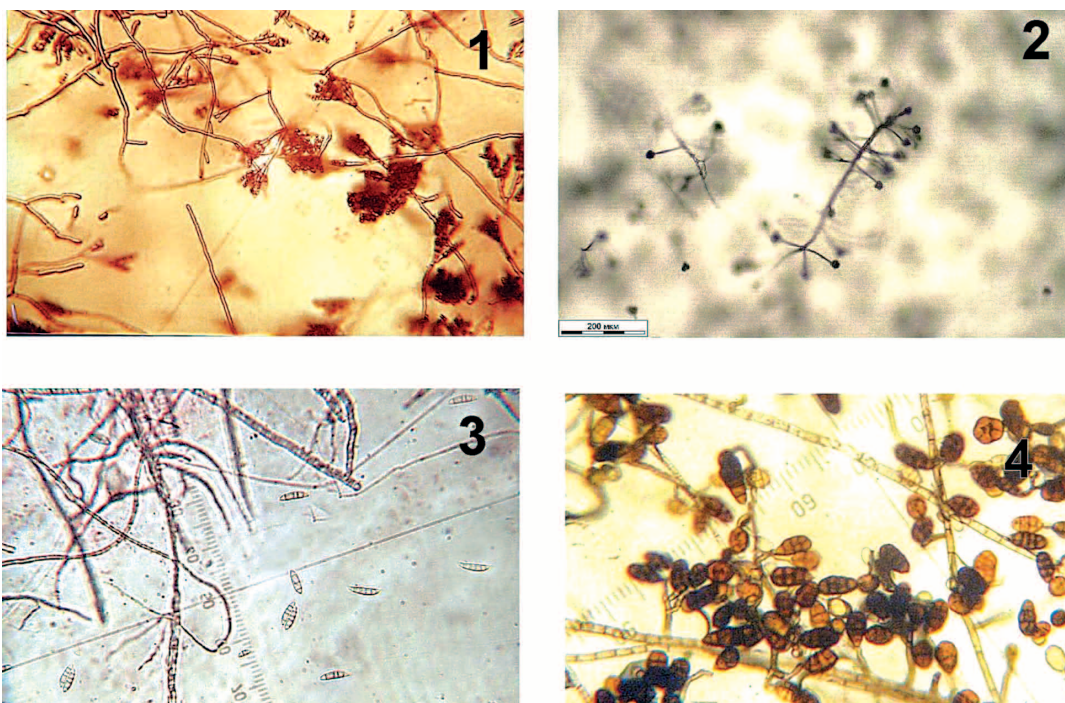


Рис. 2. Микроскопия доминирующих микромицетов в дерново-подзолистой почве: 1 – конидиеносцы *Penicillium* sp., 2 – конидиеносцы *Acremonium* sp., 3 – мицелий и конидии *Fusarium culmorum*, 4 – конидии *Stemphylium* sp. Среда Чапека, 28 °С

Fig. 2. Microscopy of dominant micromycetes in the sod-podzolic soil: 1 – The conidiophores of *Penicillium* sp., 2 – conidiophores of *Acremonium* sp., 3 – mycelium and conidias *Fusarium culmorum*, 4 – conidias *Stemphylium* sp. Чапек media, 28 °C

Ethnoecology of the Slavic World: application significance on the Eurasian space

© 2019. I. Yu. Trushkova^{1,2} ORCID: 0000-0003-2944-2446⁷

T. Ya. Ashikhmina^{1,3} ORCID: 0000-0003-4919-0047⁷

L. V. Kondakova^{1,3} ORCID: 0000-0002-2190-686X⁷

¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Scientific Laboratory “Ethnocultural Processes in the Kama-Vyatka region” Vyatka State University and Udmurt Institute of History, Language, and Literature of the Udmurt Federal Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

111, Lenina St., Kirov, Russia, 610000,

³Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

e-mail: trukshova@vyatsu.ru, usr08619@vyatsu.ru, usr11521@vyatsu.ru

Ecology is a science dealing with relations of living organisms with the environment and the ways of sustaining the harmonious balance in the world. Ecological approach determines the attitude of the people to the environment, it is the basis of their worldview, their behavior and culture. Ecologically oriented economy management and human behavior mean tendency of the mankind to nature preserving and keeping their environment healthy. Using ethnocultural experience helps to save financial, human, and natural resources, contributes to ecologization of industry and agriculture, and to spread ecological culture among the population. It was stated that ethnocultural inheritance of the Slavs contains a whole set of economic and everyday-life domestic rules of dealing with the environment, with the nature. “Ecological inclusion” of people in the natural environment helped to avoid stress, strain, conflicts in the society and conflicts of the society with the nature. Ecological experience of the Slavs is to be used in the process of ecologization of agricultural production and everyday life, as well as in development of ecological education and enlightening.

Keywords: ethnoculture of the Slavs, sustainable nature management, ecology of the living space, ecology of clothing, art-therapy, ethnoecological education.

УДК 39.94(4+7)+592.1

Этноэкология славянского мира: прикладное значение на евразийском пространстве

© 2019 И. Ю. Трушкова^{1,2}, д. и. н., профессор,

Т. Я. Ашихмина^{1,3}, д. т. н., профессор,

Л. В. Кондакова^{1,3}, д. б. н., профессор,

¹Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

²Научная лаборатория «Этнокультурные процессы в Камско-Вятском регионе» ВятГУ и Удмуртского Института истории, языка и литературы УдмФИЦ УрО РАН,

610000, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 111,

³Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

e-mail: trukshova@vyatsu.ru, usr08619@vyatsu.ru, usr11521@vyatsu.ru

Экология – наука о взаимоотношениях организмов с окружающей средой, механизмах поддержания гармонии в окружающем мире. Экологический подход определяет отношение людей к миру, составляет основу их мировоззрения, поведения и культуры. Экологически ориентированное хозяйствование и поведение людей соответствуют повороту человечества к охране природы, поддержанию здоровой среды обитания. Использование этнокультурного опыта

человечества помогает сберечь немалые финансовые, людские и природные ресурсы на устранение негативных экологических последствий, способствует экологизации промышленного и аграрного производства, вырабатывает должную экологическую культуру населения. Выявлено, что этнокультурное наследие славянского мира содержит серию хозяйственных и бытовых правил взаимоотношения с природой. «Экологическая вписанность» людей в природное окружение способствовала профилактике стрессов, перегрузок, конфликтов в обществе и общества с природой. Этноэкологический опыт славянства полезен в экологизации аграрного производства, быта и может широко использоваться в развитии экологического образования и просвещения населения.

Ключевые слова: этнокультура славянских народов, рациональное природопользование, экология жилища, экология костюма, арт-терапия, этноэкологическое воспитание.

Many scientists from all over the world mention the discrepancy between the development of the society and the relations of the society and nature during the Industrial and Post-Industrial Age [1]. A new look on nature and people relations, on relations of biology and spiritual life is being developed now. “The sources of biological revolution of the second half of the 20th century are numerous. The greatest discoveries were made in molecular biology and biochemistry; DNA structure discovery caused development of a special industry which deals with gene modification... Human culture is most likely to reflect general social needs, which have rather biological than cultural roots” [2]. The 21st century is supposed to be the time to develop different sciences dealing with human being in many ways, while the 20th century is viewed as the time of developing nuclear physics and chemistry, and other branches of these sciences. In anthropological studies they specially mention human contact with the environment [3]. The research in the ecological sphere is topical, as there are many issues of contemporary humans’ dealing with the nature.

On this account they pay more and more attention to historical and ethnic experience of the developed agricultural cultures resistant to impact from the outside, including Slav cultures. Now they see special value not only in the ecological programs for industry and agriculture, but also in historical ethnocultural experience of nature management, which had been worked out in the past by different peoples and let keep the ecological balance in many parts of the world. The applied value of ecology could be enriched by the research results of ethnoecology as a branch of ecology. In many cases following the traditions could help to keep the natural resources and finance and it could contribute to developing ecological culture of the population. That’s why learning and understanding ecological experience is getting more and more topical in different spheres of life and industry nowadays.

The aim of the article is to find out and analyze the ecological techniques and norms in

Slav ethnic cultures, and to estimate their role in contemporary life support systems, industry, and ecological education. Thus the tasks are: 1) to find the territories for life and industry, the rules of building and utilizing houses, the ways of everyday life, as well as the ways of making and wearing clothing, producing and keeping natural food, food preparing, which would be characterized with the lowest expense to the nature; 2) to state the conformity to the natural laws of special celebrations, traditions, rites, as well as in religion and mentality (“ecology of the soul”), which determine this conformity in different Slav ethnocultures, as they are quite well-adjusted systems in the field of environmental interaction.

Methodology and methods

Contemporary science tends to multi- and transdisciplinarity. In the field of sciences and arts cooperation a special attention is paid to the time-tested contacts, still new transformed effective approaches are needed. Nowadays interdisciplinarity contacts between ecology and ethnography are not only possible, but necessary from the point of view of finding new approaches which are more effective and which contribute to applicability of the both ecology and ethnography. A new look upon the content and methods of ecology and ethnography leads to discovering characteristic features of a new-created sphere of knowledge, which is called ethnoecology.

Field research takes a special place in the set of ecology methods [4]. Field expedition research is also a “classical” method in ethnography. It is well-known that the main method of science research is observation, “Observation is deliberate purposeful intaking in order to find out the essential features of the object observed” [5]. “Overt observation” in ethnology can be viewed as something analogous and as an experiment which contributes to understanding not just ordinary information but also feelings, worldview, small, micro-details. Both in eco-

logy and ethnography a long-term observation is made through monitoring.

Ecology studies formation, structure, and functioning of biological systems on all the levels, from a separate organism to the biosphere, and their relations with the environment. Ethnography and ethnology study ethnic community (cultural) systems as maximally productive ones, with a well-developed system of life sustaining and survival techniques, as living organisms with a sufficient vitality resource. A system approach which is well-spread in ecology and ethnology makes it possible to study populations, biocoenoses, and ethnic communities different in scale. It is interesting to state functional connections of living organisms both between each other, and with the environment [6]. The research in contact zones of ecology and ethnology are topical in the contemporary world and in due to crises, which often take place nowadays. Methods of observing and experiment, system and expedition contribute to innovative and more effective research commonly made in the spheres of ecology and ethnology.

Results and Discussion

Using the above-mentioned methods in ecology and ethnology helped to acquire a definite view of ecological, well-balanced nature management characteristic of Slavs. The Slav world supposes tight and comparatively early formed agricultural traditions. Such cultures have special ways of coming in contact with the nature and other cultures. Not only soil and climate are of the greatest importance to them, but also such natural objects and phenomena as the sun, wind, and rain. That's why Slav ethnoecology includes the works on their contemplative worldview, which supposes sparing soil treatment, ecology of housing, natural protective amulets and decoration inside their houses, ecology of folk garments decorated with numerous ornaments, so-called "songs in cloth": plant, zoomorphic, ornitomorphic, and anthropomorphic ones. The cooking utensils and the food system are notable for their conformity to the laws of the nature and environment friendliness [7]. A new look on the issues of scientific works being made on the borderline of ecology and ethnology causes certain "renovation" of the conception of providing life and ethnoecology of Eastern Slavs. It is based on eco-friendly systems of consuming natural resources, on total economizing, on "ecology/purity of soul", etc.

Russians, Ukrainians, Belarusians had detailed, well thought over, well-adopted agriculture, a system of tools and ways of soil cultivation, they were carefully taking into account climatic peculiarities. It was carefully considered before [8]. Western Slavs also had collective, environment-friendly ways of making canals and dikes, of protection against fire, of vineyard protecting, etc. [9].

Settlements and houses of Slavs are a constant source of ethnoecological information. Ethnocultural Slavic inheritance in Western Poland demonstrates a set of useful rules and ways of organizing a place of living. They include conforming to the natural environment, water, soil, air, etc. [10]. Environmental friendliness is seen in the ways of building houses, in solar symbols on the doors, in wooden pails, spoons, in wicker baskets and cups. Ethnographic observing and research in the Russian North, in Poland, Bulgaria, and Slovakia indicate many variants of culture techniques in everyday life which are of low cost from the point of view of using both natural resources (soil, wood, etc.) and human power.

The cutout of Russian garments, as well as of those of other Slavs, is very saving [11]. Environmental friendliness of clothes consists in saving the cloth, in using natural kinds of cloth. Slavs ate healthy food, due to their ecologically-friendly agriculture. Many facts from Slavic ethnography indicate the ways of production which are the least costly for man and nature, a high degree of adaptation to the territory lived on, the ways of building and keeping houses, keeping a household, of making and wearing clothes, as well as sets of utensils for safe-keeping natural food and for cooking food.

The material objects of the traditional cultures reflect spiritual beliefs. In Middle Age in Christian Slavic Europe household items were decorated with plant, solar, zoo- and ornitomorphic ornaments [12]. In the Russian tricolor white symbolizes air and water, red means fire, the sun, and blood, black is the colour of "Mother Earth" which gives life and takes everything in back [13]. As for other Slavs, Macedonian garments for women are decorated with solar and plant ornaments; on the head drapery of the bride square white and red ornaments symbolize four parts, four cardinal directions of the world, the sleeves of the white garment and the "covers" of the bride are richly embroidered with red plant ornaments, the apron is embroidered with sun-, tree-, and bush-shaped ornaments and with symbolizing the triadic nature of the world

[14]. Thus, Slavic ornaments look as maps and tests on understanding the nature. In Slovakian traditional embroidery they use numerous plant ornaments in a white-red-black colour scheme (Ažurkové vzory, krizikové vzory, hladkované vzory, vyšilké na perličke, výrezové vzory) [15]. Old jewelry of Slovaks is decorated with solar ornaments [16].

Bright ethnoecological ornaments are characteristic of the north-west of the Slavic world. “Aspects of pre-Christian paganism have survived among several ethnic groups, including the Abkhaz of Georgia and some of the Finno-Ugric people of European Russia, where there had been a continuing tradition of paganism”, “Mari paganism includes rites directed towards the spirits of the forest and fields...” [17]. Mental, spiritual symbols are also characteristic of the ethnic environment of the Slavs, such as animal style, compositions including dragons, red horses on a stone monument in Scandinavia [18].

Ecological character of Slavic spiritual culture is seen in the complex of beliefs concerning keeping healthy. A set of rules could have survived due to living quite separately, for example, in the Tatras, in the natural environment, surrounded with a special atmosphere, colours, the sky, the horizon line, etc. [19]. Similar ethnocultural environmentally friendly themes are also found in Yugoslavian folklore [20].

Spiritual culture of Slavs included art-therapy as a part of “ecology of the soul”. According to the data of different ethnographic expeditions, on all the territories inherited by the Slavs one can find a similar rhythm of celebrations and rites, colourful garments, it is typical for a person to take part in some joint activities. Rites and celebrations helped to keep tradition in everyday life. Apotheosis of wise organization of life rhythm is seen in agricultural rites and time of the year celebrations [21]. Viewing spiritual culture of the Slavs through “ecological glasses” lets see the laws and conformity to the natural cycles in the system of celebrations, customs, rites, in the religion containing many pagan elements, in mentality, and in traditional folk medicine.

Nowadays ethnoecological education represents application of this especially well. In Sweden it starts as early as in kindergartens [22]. Ethnoecological knowledge is to be acquired and ethnoecological research is being carried out in higher school, at the faculties of ethnography, anthropology, philosophy. At the moment in Slavic countries ethnographic education includes knowledge on ethnomedicine, folk magic, agroethnology, etc. [23].

Ethnographic open-air museums play a great educational and enlightenment role in the sphere of ethnoecology. They demonstrate achievements in building and arrangement of houses at the minimal expense, as for the natural resources, and with the maximal degree of life and health ergonomics. For example, in Russia such open-air museums can be found in almost every region: the Architecture-ethnographic museum in the Tver region, village Vasilyevo; the museum of Wooden Architecture “Malye Korely” in the Arkhangelsk region; the town of Suzdal “Pyatyorochka” in the Vladimir region; “Tatar Chelny” in the Republic of Tatarstan; “Ludorvay” in the Republic of Udmurtia, etc. There is an open-air museum in Slovakia, it had been made from 1972 till 1991 [24]. In 1922 the ethnographic museum of Slovenia was founded. Development of ethnoecological education and enlightenment is really necessary nowadays.

On the whole, ethnocultural inheritance of the Slavic world reveals a set of topics and trends in the way of sparing, effective rules of dealing with the nature, with water, soil, the sky, flora, and fauna. “Ecological” inclusion of people in the natural environment contributed to psychic health, to avoiding stresses, strains, to avoiding conflicts both between people and between people and the nature.

Conclusion

Interdisciplinary research is characteristic of the tendency to ecologization of industry and agriculture, of developing nature-preserving and health-preserving techniques, of spreading ecological culture among the population. Using joint techniques and methods reveals new resources and trends in developing industry and keeping healthy. All the best ethnoecological inheritance and experience of “culture techniques” is to be launched in production. Forms and methods of ethnology/anthropology correlate with the formula “Small Places, Large Issues”: “Anthropology is a discipline based upon in-depth ethnographic works that deal with wider theoretical issues in the context of particular, local conditions – to paraphrase an important volume from the series: *large issues* explored in *small places...*” [25]. The term “issues” can be understood and translated in Russian differently. It has such meanings as “a problem”, “an arguable subject”, “a magazine/newspaper published at a particular time”, “an estuary”, “output”, “result”, and even “a child of someone” [26].

Thus ethnographic research of certain territories can contribute to focusing on something new, some issue, some new result, some new product (a baby?). This approach appears to be topical nowadays, researching in this direction is quite promising. Ethnoecology contributes to sustainable development of regions, to the work “in advance”, to their positive image, to making life there comfortable for people, to including there the above-mentioned “large Issues”.

References

1. Toffler E. The Third Wave. Moskva: Izd-vo AST, 2004. P. 236–237 (in Russian).
2. Fukuyama F. The Great Disruption. Moskva: Izd-vo AST, 2003. P. 215–216 (in Russian).
3. Buchanan P. On the brink of death. Moskva: Izd-vo AST. 2008. P. 40 (in Russian).
4. Ashikhmina T.Ya. Regional politics in ecological // Ecology. Culture. Education: Sb. materialov Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 1998. P. 40 (in Russian).
5. Grivko E.V., Chekmareva O.V. History and methodology of science in the field of environmental protection. Orenburg: IPK GOU OGU, 2009. P. 58–59 (in Russian).
6. Trushkova I.Yu. Ethnoecology of the Slavic World: methods, content, topicality // Actual Issues of Ethnoecology in the West and in the East of the Slavic World: Sb. materialov Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru. Kirov: Avers, 2014. P. 14–15 (in Russian).
7. Trushkova I.Yu. Traditional culture of the Russian population of the Vyatka region in 19th- early 20th century (the system of life sustaining). Kirov: Mauri-print, 2003. P. 208–305 (in Russian).
8. Zelenin D.K. East Slavic Ethnography. Moskva: Nauka, 1991. P. 37–84 (in Russian).
9. Skovierova Z. Team work and selfhelp in Slovakia in time and space // Ethnologia Slovaca et Svavica. 1999. No. 28–29. P. 111.
10. Dom w lubuskim pejzazu kulturowym. Zelona Gira, 2016. 86 p. (in Polish).
11. Parmon F.M. Russian traditional folk garment as a constructive source of art. Moskva: Izd-vo LEGPROM-BYTIZDAT, 1994. P. 160–185 (in Russian).
12. Umenie a priroda stredovekej Europy. Bratislava, 2013. 158 p. (in Slovak).
13. Trushkova I.Yu. Traditional garments of the Vyatka region. Issues of forming, interrelations, the contemporary state // History and culture of the Vyatka region. V. 2. Moskva-Kirov: Akademicheskij proekt – Konstanta, 2005. 510 p. (in Russian).
14. Macedonian collections of the Russian Ethnographic museum fund. Skopje – Sankt-Peterburg, 2003. 88 p. (in Macedonian).
15. Duchonova M. Vyšivame novy vzory. Bratislava, 1987. 176 p. (in Slovak).
16. Kolnik T. Posiatky krestyanstva v srednom Podunajsku vo svetle historickich a archeologickych pamenov // Bratia, ktorí mrnili svet – Konstantin a Metod. Pispevky z konferencie. Bratislava. 2012. P. 21–28 (in Slovak).
17. Lewis D.C. After Atheism. Religion and Ethnicity in Russia and Central Asia. London: Curzon, 2000. P. 117–118.
18. Orrling C. Vikings. Stockholm, Svenska Institutet. 1997. P. 55–58 (in Swedish).
19. Radziszewska J. “The children of the Nature”. On the Polish Highlanders in Descriptions from the 19th century // Ethnologia Slovaca et Svavica. 2012. No. 35. P. 57–71.
20. Stevanovic L. Mother country and her children – Construction of nation and gender on the example of *Jugoslovenca* – the journal for children in Kingdom of Yugoslavia // Ethnologia Slovaca et Svavica. 2012. No. 35. P. 72–78.
21. Tikhonitskaya N.N. “Sporina” in reaping rites and songs, mostly in Belorussia // Yazyk i literatura. T. VIII. Leningrad, 1932. P. 59–81 (in Russian).
22. Horning E., Lundberg P., Skoglund G., Ostrem O. EcoLogic! Ecologic education. Methods and devices (the variant in Russian). Stockholm: Svenska Institutet, 1997. 72 p.
23. The present staff of department of ethnology and cultural anthropology // Ethnologia Slovaca et Svavica. 2011. No. 34. P. 71–73.
24. Zuskinova I. Muzeum Liptovskej dediny v Pribyline. Bratislava, 2009. P. 4. (in Slovak).
25. Erikson T.H. Small places, large issues. An Introduction to Social and Cultural Anthropology. NY: Pluto Press, 2010. P. 327.
26. English-Russian Dictionary / Sost. V.K. Miller. Moskva: Gosudarstvennoe izdatelstvo inostrannykh i natsionalnykh slovarey, 1956. 700 p. (in Russian).

“Smart” state regulation in the sphere of environmental protection and nature management

© 2019. М. А. Костенко ¹ ORCID: 0000-0003-2429-8713,
О. В. Попова ¹ ORCID: 0000-0002-8130-6196, М. Лутовац ² ORCID: 0000-0002-9468-3740,
¹Southern Federal University,
105/42, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, Russia, 344006,
²Union Nikola Tesla University,
62-64, Cara Dušana St., Belgrade, Serbia, 11000,
e-mail: makosttenko@sfnu.ru

The main purpose of spreading the concept of “smart” state regulation to the environment area is natural protection for future generations. A special place in the solution of problems of environmental sustainability, environmental protection and nature management belongs to legal means, and norm-setting in this area should be outstripping in nature.

Important legal acts have already been adopted to address environmental problems, the central one being the development of the list of “best available technologies”, and their implementation will make a significant step in achieving sanitary standards of harmful environmental impact indicators. At the same time, the change of Russia’s main environmental indexes show an increase in the negative impact on the environment and this growth will continue in parallel with the development of the economy, which requires the development of new measures of influence based on the ideas of the concept of “smart” state regulation.

The concept of “smart” state regulation in the sphere of environmental protection and nature management is aimed at the introduction of integrated assessment procedures of decisions and allows purposeful influencing the economic activities of legal entities and individual entrepreneurs, to build as a matter of fact the individual trajectory of legal regulation of their activities in this area. Authors are encouraged to use the Assessment of the Negative Environmental Impact (ANEI) and the Regulatory Impact Assessment (RIA) in preparing regulatory and law enforcement decisions. This allows “flexibly” to influence environmental decisions, more rational use of legal means and synchronize legal regulation with tasks in the field of environmental protection and nature management. It also helps to form an eco-consciousness in the business community.

Keywords: policy of “smart” state regulation, legislation, best available techniques, assessment of the negative environmental impact, regulatory impact assessment, eco-consciousness.

УДК 504.5:351.77

«Умное» государственное регулирование в сфере охраны окружающей среды и природопользования

© 2019. М. А. Костенко ¹, к. ю. н., доцент, зав. кафедрой,
О. В. Попова ¹, д. т. н., доцент, профессор,
М. Лутовац ², д. т. н., профессор,
¹Южный федеральный университет,
344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42,
²Союзный университет им. Николы Тесла,
11000, Сербия, Белград, ул. Царя Душана, 62-64,
e-mail: makosttenko@sfnu.ru

Главной целью политики «умного» государства в сфере охраны окружающей среды и природопользования является бережение окружающей среды для будущих поколений. Концепция «умного» государственного регулирования предполагает принятие правотворческих решений, объединяющих в единую систему несколько факторов, определяющих результаты оценки негативного и допустимого воздействия на окружающую среду. Применение процедуры оценки регулирующего воздействия в сфере охраны окружающей среды и природопользования будет способствовать выбору эффективных средств воздействия на хозяйственную деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. Это позволит оценить позитивные и негативные последствия утверждения нормативных документов. Авторы предлагают комплексный подход к оценке негативного воздействия на окружающую среду и внедрение оценки государственного регулирования (оценки регулирующего воздействия).

Ключевые слова: политика «умного» государственного регулирования, законодательство, наилучшие доступные технологии, негативное воздействие на окружающую среду, оценка регулирующего воздействия, экосознание.

The main condition for the sustainable development of a modern state is the existence of an effective public administration system. The current system of public administration in Russia, as in any other state, facing challenges of a global nature, often demonstrates “confusion” and delay in responding to them, which undermines the principles of the system stability. One of the key domains of public life, where this problem is particularly acute, is ensuring of environmental sustainability.

Environmental development of territories as well as rational use of natural resources on the basis of modern scientific and technological achievements and the formation of “smart” public regulation system aimed at protection of the constitutional rights and freedoms of citizens and preserving the environment for future generations shall be the policy directions of the “smart” state in the sphere of environmental protection and management. An innovative system of public administration aimed at solving environmental problems should be based on the active involvement of innovative technologies in practical activities.

Review of research studies on “smart” state policy shows that a significant amount of scientific papers is devoted to improvement of regulation in the service sector and service security [1–3], improvement of electric power system and reduction of energy losses [4, 5], conversion of the existing electricity infrastructure into so-called intellectual networks [4–10]. The authors [2] offer the “Intelligenter” method “based on the innovative idea of collaborative discovery in urban systems” and draw attention to the fact that, first of all, policy and regulation are made smart through qualitative and quantitative cooperation of all stakeholders in sustainable development. Publications [7–10] give an idea of Smart Grid technology for operating electric grids in order to improve their efficiency, reliability and safety and to reduce the demand and cost of electricity. In the context of environmental policy, the term “smart regulation” was first developed to describe the post-command and control of implementation style, which is expected to be able to cope with increasingly technologically and politically complex management issues [11]. “Smart” regulation is a compromise solution for those who support strong state regulation of business and those who are against such regulation [12–14]. The analysis of the relationships between tools to achieve goals in environmental policy and political success [15] shows that Flemish interventionist approach,

which focuses on traditional instruments, is not as effective compared to the Dutch stimulating approach, as the latter uses a wide range of social and economic instruments, including many new environmental policy tools. It is noteworthy that the government remains the most important regulator in all cases, although the importance of additional regulators is growing [15].

A special place in solving problems in the field of environmental safety, environmental protection and natural management belongs to the statutory regulation, which should be proactive and not catching up. Despite significant positive changes in Russian environmental legislation and significant integration of the national statutory framework with the European legislative system, which can be seen in the example of article [16], it worth mentioning that in the Russian Federation there are no legal technologies that allow to introduce a reliable mechanism of long-term regulation, which is the most important factor in the formation of “smart” regulation in the field of environmental and natural management.

The article presents an analysis of regulatory legal documents in the field of natural management and protection, the effectiveness of integrated application of environmental impact assessment and regulatory impact as an important way to implement the policy of “smart” state regulation.

Formation of “smart” State Regulation Policy

The policy of the “smart” state is realized through establishment of theoretical, practical and technological principles of “smart” state regulation system, which objectives are structuring of administrative relations to solve the most important problems of society. This should be supported by a scientifically based assessment of the consequences of the introduction of regulatory norms, their non-redundancy and sufficiency and impact on relations in the field of environmental management and protection.

However, the analysis of the dynamics of the main environmental indicators in Russia shows an increase in the impact of negative factors on the environment, which requires measures to transition to the policy of “smart” State regulation. A striking example of “smart regulation” is the solution to the problem of e-waste utilization in China. In particular, the law of the People’s Republic of China “On protection of environment” in article 25 provides that the fabricator

should manufacture products on the basis of the principle of small use of resources using a high degree of purification from pollutants formed in the production process. Regulatory impact should be flexible and complex, which presumes a combination of state regulation and other new forms of regulation – self-regulation, co-regulation, quasi-regulation [17], and is determined by the balance of international and national levels of regulation, strategic planning and effective law enforcement.

Regulation of indicators of negative impact on the environment at the national level is an important indicator of the policy of “smart” state regulation and it allows to assess the effectiveness of management decisions. The documents of strategic planning in the field of environmental protection and natural management are the national security Strategy of the Russian Federation until 2020 (Strategy–2020) and the Concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020, which contain, among others, tasks in the environmental sphere. The environmental burden on the Russian economy is still significantly lower than in developed countries. Regulatory legal acts establishing mandatory rules and requirements in the field of environmental protection and natural management are an effective tool in the implementation of strategic objectives.

Statutory regulation in the field of environmental protection and transition to the concept of permissible environmental impact and necessary regulatory impact

The basis of normative regulation of environmental protection and natural management is the Federal law of 10.01.2002 No. 7-FZ “On Protection of Environment” [18], which in the preamble refers to the constitutional and legal norm on the right to a favorable environment and the obligation of everyone to preserve nature and the environment, to take care of natural resources. This Law is aimed at regulating relations in the sphere of interaction between society and nature in the process of economic and other activities and is the basis of sustainable development of the Russian Federation. A comprehensive analysis of the current legislation in this area requires consideration of a number of normative legal acts [19–21].

In general, the legal regulation of activities related to the impact on the natural environment at the present stage is based on the stimulation

of legal entities and self-employed entrepreneurs engaged in economic and (or) other activities to carry out measures to reduce the negative impact on the environment and the introduction of Best Available Techniques” (BAT). However, economic instruments can be used and be quite effective up to a certain point, namely during the period of monitoring of the actions of an economic entity to confirm the achievement of a stimulating effect, when legal entities and self-employed entrepreneurs take measures to reduce the negative impact on the environment, and from 1 January 2020 – supplemented by the introduction of BAT. In case of the absence of activities expected from the state in the actions of the economic entity, it is necessary to move from regulation exclusively with the help of economic instruments of influence to legal means of restrictive and prohibitive nature. This requires the development of assessment tools and the introduction of special legal regimes that provide flexible legal regulation for specific legal entities and self-employed entrepreneurs engaged in economic and (or) other activities.

The creation of such a mechanism is important in the light of the forthcoming significant changes in the legislation on environmental protection on January 1, 2019 which determine the rules of regulation in the field of environmental protection and establish fundamentally new approaches to point regulation in relation to a particular legal entity and individual entrepreneur, which will ensure the focus of regulatory impact and serve the purposes of “smart” state regulation, when the fee for negative impact on the environment (more – NIOE) in the presence of certain indicators of activity of the economic entity does not meet the interests of the state and society.

It seems promising during the gradual transition to the concept of “smart” state regulation to use techniques that allow in taking legislative decisions, to combine into a single system several factors – the results of the assessment of the negative impact and the permissible impact on the environment, as well as the current state of implementation of the best available techniques at a certain production area. In our opinion, the application of the regulatory impact assessment procedure (hereinafter-RIA) will help in the selection of effective means of impact on the economic activities of legal entities and self-employed entrepreneurs [22].

RIA procedure allows you to set the problem to be solved, as well as the goals of regulation and possible ways to achieve the desired result. Based on this, it is planned to draft a legal act that is

designed taking into account the optimal model of duties, prohibitions and restrictions in relation to individuals and legal entities in the field of entrepreneurial and other economic activities or contribute to their introduction [23]. This is especially important in order to form a cutting-edge legislation in the field of environmental protection and natural management within the concept of “smart” state regulation, which provides for the selection of the most effective version of the proposed legal regulation.

The mechanism of RIA procedure involves the assessment and comparison of qualitative and quantitative parameters of all possible consequences of the introduction of each of the possible ways of legal regulation of the relevant sphere of public relations in comparison with the existing one. This requires a comprehensive assessment of qualitative and quantitative parameters affecting the limits of permissible negative impacts on the environment, which justify the need to change the legal means of impact on relations in the field of environmental protection and environmental management.

Measures for complex assessment of negative impact on the environment and implementation of the best available techniques

The approach proposed for a comprehensive assessment of the negative impact on the environment is to combine indicators established by the current legislation into a single system. New indicators in the future can be implemented in this model. The first indicator of the system are the objects that have NIOE, which according to [18] and Resolution of the Government of the Russian Federation of September 28, 2015 No. 1029 “On approval of criteria for classifying objects that have a negative impact on the environment, to objects I, II, III and IV categories” are divided into four categories. Thus, the categorical characteristic of the object establishes their differentiation depending on the degree of negative impact on the environment (significant, moderate, minor, and minimum) (Indicator 1 in the table).

The next indicator of a complex assessment is the hazard classes of waste established by the Federal law “On Production and Consumption Wastes” [19] and the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04.12.2014 No. 536 “On approval of criteria for classifying waste to I – V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment”, which allow not only quantitatively but qualita-

tively assess the degree of negative impact on the environment (Indicator 2 in the table). In this aspect, a research, representing the scientific basis for the development of methods for assessing the cost of waste disposal, and especially waste high-tech industries become relevant.

The third indicator has a stimulating character – the coefficient for NIOE for legal entities and individual entrepreneurs engaged in economic and (or) other activities, which thus encourage the implementation of measures to reduce the negative impact on the environment and the introduction of Best Available Techniques (BAT). The coefficient for NIOE will come into effect from 1 January 2020 and will determine the rate of payment for the negative impact on the environment depending on the amount of emissions of pollutants, discharges of pollutants, production and consumption waste (Indicator 3 in the table).

In the table, the normative indicators are located with increase of the impact risk and are designed to apply three levels of possible regulatory impact: the upper level (green zone) – the priority of economic means of impact; the middle level (yellow zone) – the strengthening of economic means of impact and control measures; the low level (red zone) – the transition from exclusively economic to statutory means of impact in the form of restrictions and prohibitions.

Thus, state regulation for reducing the negative impact on the environment is aimed at stimulating the introduction of BAT. Despite the logic and reasonableness of the provisions of the guidelines for the definition of technology as BAT in accordance with GOST R 56828.1-2015, the economic evaluation criterion in this case is considered on a par with the environmental, which is conceptually incorrect. The environmental criterion should have priority, and economic entities entering the red zone (see Table) must be recognized as environmentally hazardous, and must be subject to a special legal regime. This issue has not yet been fully resolved and requires a complex assessment. It is necessary to legally establish the principles of introducing special regimes in relation to economic and other activities carried out by legal entities, individual entrepreneurs and citizens, “entered” in the red zone, as well as differentiate the types of state environmental supervision, depending on the level of environmental hazard of objects.

Conclusion

Improving the efficiency of state regulation in the field of environmental protection and natural

Table

Complex assessment of the negative impact of objects on the environment

Indicator 1	Indicator 2	Indicator 3
Categories of objects [18, art. 4.2]	Waste hazard classes [19, art. 4.1]	Coefficient for the negative impact on the environment [18, art. 16.3] (paragraph 5 comes into force on January 1, 2020)
Green Zone		
IV – having a minimum negative impact on the environment; III – having a negligible negative impact on the environment	V – practically non-hazardous waste; IV – low hazardous waste	0 – for the volume or mass of emissions of pollutants, discharges of pollutants within the limits of technological standards after the introduction of the best available technologies at the site that has a negative impact on the environment; 0 – for the volume or mass of production and consumption waste that are subject to accumulation and actually used from the moment of establishment in own production in accordance with the technological regulations or transferred for use within the period provided for by the legislation of the Russian Federation in the field of waste management; 1 – for the volume or mass of emissions of pollutants, discharges of pollutants within the limits of permissible emissions standards, standards for permissible discharges; 1 – for the volume or mass of production and consumption wastes placed within the limits for their placement, as well as in accordance with the reporting on the formation, use, disposal and disposal of production and consumption waste submitted in accordance with the legislation of the Russian Federation in the field of handling waste;
Yellow Zone		
II – have a moderate negative impact on the environment; I – having a significant negative impact on the environment and relevant to the areas of application of the best available techniques	III – moderately hazardous waste; II – highly hazardous waste	25 – for the volume or mass of emissions of pollutants, discharges of pollutants within the limits of temporarily permitted emissions, temporarily permitted discharges; 25 – for the volume or mass of production and consumption waste placed beyond the established limits for their placement or specified in the declaration on environmental impact, as well as in reporting on the formation, use, disposal and disposal of production and consumption wastes in accordance with the legislation of the Russian Federation in the field of waste management;
Red Zone		
I – having a significant negative impact on the environment and relevant to the areas of application of the best available techniques	II – highly hazardous waste; I – extremely hazardous waste	100 – for the volume or mass of emissions of pollutants, discharges of contaminants exceeding the volume or mass specified for Category I objects, and also exceeding or exceeding the volume or mass specified in the declaration on environmental impact for Category II facilities

management should be based on the use of different types of impact tools – technical, technological, economic, legal. The policy of “smart” state regulation requires parallel development of science and production technologies, stimulation of scientific activity in those areas where the deficit is most acute. We can say that there is virtually no large-scale research, uniting the efforts of scientists in various branches of science, so far. Connection of mechanisms of assessment of NIOE and BAT is a promising task for the formation of “flexible” impact on public relations in the field of environmental protection and natural management, as

well as the formation of advanced legislation in this area. A concomitant, but no less significant result of the application of the concept of “smart” state regulation can be the progressive formation and establishment in the business community of the saving eco-consciousness.

References

1. Khan Z., Pervez Z., Abbasi A.G. Towards a secure service provisioning framework in a Smart city environment // Future Generation Computer Systems. 2017. V. 77. P. 112–135. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.031>.

2. Marsal-Llacuna M.-L., Segal M.E. The intelligenter method (II) for “smarter” urban policy-making and regulation drafting // *Cities*. 2017. V. 61. P. 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.006>.
3. Ibrahim M., El-Zaart A., Adams C. Smart sustainable cities roadmap: Readiness for transformation towards urban sustainability // *Sustainable Cities and Society*. 2018. V. 37. P. 530–540. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.008>.
4. Connor P.M., Baker Ph.E., Dimitrios X., Balta-Ozkan N., Axon C.J., Cipcigan L. Policy and regulation for smart grids in the United Kingdom // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. V. 40. P. 269–286. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.065>.
5. Bhati A., Hansen M., Chan Ching Man. Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households // *Energy Policy*. 2017. V. 104. P. 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>.
6. Leiva J., Palacios A., Aguado J.A. Smart metering trends, implications and necessities: A policy review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. V. 55. P. 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.002>.
7. Ponce-Jara M.A., Ruiz E., Gil R., Sancrist bal E., Pérez-Molina C., Castro M. Smart Grid: Assessment of the past and present in developed and developing countries // *Energy Strategy Reviews*. 2017. V. 18. P. 38–52. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.011>.
8. Meadowcroft J., Stephens J.C., Wilson E.J., Rowlands I.H. Social dimensions of smart grid: Regional analysis in Canada and the United States. Introduction to special issue of *Renewable and Sustainable Energy Reviews* // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. V. 82. Part 2. P. 1909–1912. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.106>.
9. Brown M.A. Enhancing efficiency and renewables with smart grid technologies and policies // *Futures*. 2014. V. 58. P. 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.01.001>.
10. Lin Chen-Chun, Yang Chia-Han, Shyua Joseph Z. A comparison of innovation policy in the smart grid industry across the pacific: China and the USA // *Energy Policy*. 2013. V. 57. P. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.028>.
11. Howlett M., Rayner J. (Not so) “Smart regulation”? Canadian shellfish aquaculture policy and the evolution of instrument choice for industrial development // *Marine Policy*. 2004. V. 28. No. 2. P. 171–184. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(03\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(03)00086-1).
12. Grabosky P. Green markets: environmental regulation by the private sector // *Law and Policy*. 1994. V. 16. No. 4. P. 419–448. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9930.1994.tb00132.x>.
13. Grabosky P. Regulation by reward: on the use of incentives as regulatory instruments // *Law and Policy*. 1995. V. 17. No. 3. P. 257–282. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9930.1995.tb00150.x>.
14. Gunningham N., Rees J. Industry self-regulation: an institutional perspective // *Law and Policy*. 1997. V. 19. No. 4. P. 363–413. <https://doi.org/10.1111/1467-9930.t01-1-00033>.
15. Van Gossum P., Arts B., Verheyen K. “Smart regulation”: Can policy instrument design solve forest policy aims of expansion and sustainability in Flanders and the Netherlands? // *Forest Policy and Economics*. 2012. V. 16. P. 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.08.010>.
16. Yarygin G.A., Ravikovich V.I., Wilczek G.E., Nazarevsky N.N., Fedorenko A.V., Fomkina O.M., Persidsky P.S., Medvedev K.B. Ecological aspects of the implementation of the South Stream gas pipeline project in the territory of the Republic of Serbia // *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 2014. No. 3. P. 5–11 (in Russian).
17. Petrov D.A. Concept and types of state regulatory impact on socio-economic relations // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Pravo*. 2013. No. 4. P. 20–25 (in Russian).
18. Federal Law “On Environmental Protection” of 10.01.2002 No. 7-FZ (last version) [Internet resource] <http://www.consultant.ru/> (Accessed: 07.03.2018) (in Russian).
19. Federal Law “On Waste from Production and Consumption” dated June 24, 1998 No. 89-FZ (last version) [Internet resource] <http://www.consultant.ru/> (Accessed: 07.03.2018) (in Russian).
20. Directive of the Government of the Russian Federation of July 8, 2015 No. 1316-r “On approval of the list of pollutants subject to measures of state regulation in the field of environmental protection”. [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182546/ (Accessed: 07.03.2018) (in Russian).
21. Resolution of the Government of the Russian Federation of March 3, 2017 No. 255 “On the calculation and collection of fees for negative environmental impact” (together with the “Rules for Calculating and Charging for Negative Impact on the Environment”) [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/ (Accessed: 07.03.2018) (in Russian).
22. Kostenko M.A. Legal policy in the innovation sphere: goals and means (information-theoretic aspect). Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. 169 p. (in Russian).
23. Resolution of Government of the Russian Federation of 17.12.2012 No. 1318 (as amended on 31.10.2018) “On the assessment procedure of the regulatory impact of draft regulations, draft amendments to draft Federal laws and draft decisions of the Council of the Eurasian Economic Commission by Federal Executive Authorities, as well as on amendments to some acts of the Government of the Russian Federation” [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_139424/ (Accessed: 10.12.2018) (in Russian).

Проблемы государственного регулирования организации зон охраны охотничьих ресурсов

© 2019. И. А. Гребнев, к. б. н., доцент,
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский пр., 133,
e-mail: ia_grebnev@vyatsu.ru

Рассматриваются организационно-правовые аспекты создания зон охраны охотничьих ресурсов. Автор приходит к выводам об отсутствии в федеральном законодательстве определения зон охраны охотничьих ресурсов, их перечня, о нормативной неопределённости их правового статуса, а также о наличии существенных дефектов в механизме организации данных территорий. На уровне субъектов Российской Федерации существует разнообразная практика организации природно-территориальных комплексов, выполняющих функции зон охраны охотничьих ресурсов, самостоятельного определения регионами их правового режима, что не всегда соответствует нормам федерального законодательства и не имеет в своей основе единой научно обоснованной парадигмы. Выявленные дефекты фаунистического законодательства не способствуют обеспечению устойчивого существования и рационального использования охотничьих ресурсов, что является нарушением публичных экологических интересов. Выдвигаются предложения по совершенствованию государственного регулирования в сфере территориальной охраны охотничьих ресурсов.

Ключевые слова: зона охраны охотничьих ресурсов, биотехнические мероприятия, охота, охотничье хозяйство, биологическое разнообразие.

Problems of state regulation of the organization of protection zones for hunting resources

© 2019. I. A. Grebnev ORCID: 0000-0002-8028-0713¹
¹Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Vyatka State Agricultural Academy,
133, Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: ia_grebnev@vyatsu.ru

The subject of the research is the legislation regulating the organization of zones of protection of hunting resources. On the basis of theoretical assumptions, analysis of normative-legal acts, the author identifies areas and proposes concrete measures to improve legislation and law enforcement practice in the field of territorial protection of hunting resources (wild animals being objects of hunting). Work was carried out on the basis of a systematic approach using formal-logical and comparative legal research methods. The author comes to the conclusion about the absence of Federal legislation defining zones of protection of hunting resources, their inventory, and regulatory uncertainty of their legal status. Therefore, at the level of constituent entities of the Russian Federation there is a wide practice of organization of natural-territorial complexes as zones of protection of hunting resources, self-determination of the regions of their legal regime that does not always meet the requirements of Federal law and is based on a single evidence-based paradigm. The study identified a conflict of norms of the Federal faunistic legislation, the effect of having a different understanding of the order of creation of such territories. In particular, it is shown on concrete examples that the zone of protection of hunting resources can be established by decisions of the Supreme officials of constituent entities of the Russian Federation, higher Executive bodies of state power of subjects of the Russian Federation, competent Executive authorities of special competence of the constituent entities of the Russian Federation, long-term hunting users (business entities, which hunting resources made available for a period of 20 to 49 years). Based on the analysis of legal acts in the field of protection and use of objects of the animal world, it is concluded that only decisions on the organization of these territories accepted by the Federal executive bodies or the highest executive bodies of subjects of the Russian Federation are valid. Defects of legal matter do not contribute to ensuring the sustainability and rational use of hunting resources, which is a violation of public environmental interests in order to improve legal regulation in this field. It is offered to define the

list of protection zones of hunting resources in the branch normative-legal acts, their legal status, fix the organization of zones of protection of hunting resources as suggested in the article, as well as the form and content requirements to the submission on the establishment of zones of protection of hunting resources.

Keywords: zone of protection of hunting resources, biotechnical measures, hunting, biological diversity.

Экологическая доктрина Российской Федерации, одобренная распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.08.2002 № 1225-р, постулирует, что формирование природно-заповедного фонда России, создаваемого на основе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и других территорий с преобладанием естественных процессов разного уровня и режима, является неотъемлемым компонентом развития регионов и страны в целом.

В охотничьем хозяйстве России создание территорий с особым режимом охраны охотничьих ресурсов и среды их обитания традиционно является одним из основных и эффективных механизмов сохранения биологического разнообразия и создания условий для устойчивого существования и использования ресурсов животного мира [1–4]. Современное охотничье законодательство в качестве инструмента территориальной охраны охотничьих ресурсов предусматривает организацию зон охраны охотничьих ресурсов (ЗООР).

Частью 1 статьи 51 Федерального закона от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ФЗ Об охоте) предусматривается, что в целях сохранения охотничьих ресурсов создаются особо защитные участки лесов и другие ЗООР, в которых их использование ограничивается.

В зарубежной практике нам не известны случаи создания аналогичных территорий. Вместе с тем, по классификации Международного союза охраны природы ЗООР условно можно отнести к VI категории – охраняемые территории с устойчивым использованием природных ресурсов [5].

Современная международная доктрина рассматривает устойчивое природопользование в качестве элемента сохранения биологического разнообразия [6–8]. Зарубежные исследователи отмечают, что закрытие охоты повышает затраты на мониторинг и регулирование численности популяций диких животных, а также приводит к увеличению ущерба, причиняемого ими [9–14].

В нашей стране учёные придерживаются сходных взглядов [15–17]. Так, один из осно-

воположников отечественного охотоведения Б.М. Житков отмечал, что «Охотничье хозяйство стремится в конечном итоге подчинить добычу зверя и птицы принципу непрерывного пользования, т. е. правильного и полного периодического восстановления потерь, которые наносятся основному капиталу текущим промыслом» [18].

В настоящее время практическая деятельность по организации ЗООР затрудняется несовершенством существующего организационно-правового механизма создания таких территорий. Из изученных нами 44 нормативно-правовых актов субъектов Российской Федерации в данной сфере 27 не соответствовали федеральному законодательству. В научной литературе отсутствуют обстоятельные исследования по изучению нормативного обеспечения организации и функционирования ЗООР.

Цель настоящего исследования заключалась в изучении организационно-правовых аспектов создания ЗООР, выявлении дефектов правовой материи и выработке практических предложений по совершенствованию государственного регулирования рассматриваемой сферы общественных отношений. Работа проводилась на основе системного подхода с использованием формально-логического и сравнительно-правового методов исследований.

Нормативное регулирование организации ЗООР

Статья 51 ФЗ Об охоте лишь декларирует возможность создания ЗООР и указывает, что обозначение на местности их границ осуществляется в порядке установленном уполномоченным федеральным органом исполнительной власти. Согласно статье 33 указанного закона организация и осуществление сохранения и использования охотничьих ресурсов и среды их обитания, за исключением охотничьих ресурсов, находящихся на ООПТ федерального значения, является полномочием Российской Федерации, переданным для исполнения субъектам Российской Федерации. Иных законоположений в рассматриваемом правовом акте о понятии и видах

данных территорий, их правовом статусе, порядке организации, компетенциях участников правоотношений не содержится. Наличие обозначенных пробелов является причиной неудовлетворительного нормативно-правового обеспечения соответствующего направления природоохранной деятельности в охотничьем хозяйстве. Как будет показано далее, восполнение данных пробелов подзаконными правовыми актами и нормативно-правовыми актами субъектов Российской Федерации может приводить к коллизиям в правовом регулировании, и не имеет в своей основе единой научно обоснованной парадигмы.

Ознакомление со сложившейся в охотничьем хозяйстве нашей страны практикой организации подобных территорий позволяет заключить, что важнейшим элементом правового регулирования организации ЗООР должно является ограничение отдельных видов пользования животным миром, а также пользования определёнными объектами животного мира. В связи с чем, порядок организации ЗООР (по крайней мере, в современных реалиях правового регулирования обозначенных правоотношений) должен соответствовать порядку установления ограничений и запретов на использование объектов животного мира. Такой порядок установлен статьей 21 Федерального закона от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире» (ФЗ О животном мире).

Рассматривая механизм организации ЗООР, необходимо обратить внимание на то, что в соответствии со статьей 21 ФЗ О животном мире решение об их создании принимается по представлению уполномоченного государственного органа. Однако требований к форме и содержанию такого представления действующее законодательство не содержит, так же как и критериев принятия положительного или отрицательного решения федеральным органом исполнительной власти или высшим исполнительным органом государственной власти субъекта Российской Федерации о создании в каждом конкретном случае зоны охраны охотничьих ресурсов.

Разрешая вопрос о сущности и роли названного представления государственного органа, необходимо иметь ввиду то, что принимаемые решения, связанные с воздействием на окружающую среду, должны основываться на принципе научно обоснованного сочетания экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды, провоз-

глашенного статьей 3 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Реализация указанного принципа в рамках рассматриваемых отношений, как мы считаем, предполагает подготовку научного обоснования устанавливаемых ограничений пользования охотничьими ресурсами на стадии, предшествующей принятию уполномоченным государственным органом решения об ограничении пользования животным миром. Полагаем, что основные положения такого научного обоснования должны содержаться в представлении о создании ЗООР, направляемом специально уполномоченным органом исполнительной власти в сфере охраны, федерального государственного надзора и регулирования использования объектов животного мира и среды их обитания в орган исполнительной власти, уполномоченный на принятие решений о создании зон охраны охотничьих ресурсов. На наш взгляд, такое представление должно содержать информацию о государственном органе, подготовившем представление, сведения о параметрах территории, на которой предполагается создание ЗООР (границы, площадь, категория охотничьих угодий, свойства местообитаний охотничьих ресурсов, имеющие значение для создания такой зоны, сведения об осуществлении на данной территории хозяйственной и иной деятельности, имеющей значение для создания такой зоны), основания создания ЗООР, в том числе, включающее научно обоснованные предложения о создании такой территории, цель и задачи создания ЗООР, срок, на который создается ЗООР, сведения об уведомлении долгосрочного охотпользователя о создании такой территории, его позиции относительно целесообразности принятия решения о создании ЗООР (в случае, если ЗООР создаётся в границах закреплённых охотничьих угодий). Критериями принятия положительного или отрицательного решения о создании ЗООР в каждом конкретном случае должны служить наличие или отсутствие в представлении выше обозначенных сведений, их достаточность и степень достижения разумного баланса между интересами всех заинтересованных сторон.

Важной особенностью современного правового регулирования является отнесение создания в охотничьих угодьях ЗООР к мерам по предотвращению гибели охотничьих ресурсов, включённых в состав биотехнических мероприятий, согласно видам и составу биотехнических мероприятий, а также порядку

их проведения в целях сохранения охотничьих ресурсов, утверждённых приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.12.2010 № 560 (Приказ № 560). Нельзя не обратить внимание, что Приказом № 560 определяется и механизм организации и проведения биотехнических мероприятий, который применительно к ЗООР заключается в том, что необходимость создания таких зон, их количественные и качественные параметры определяются документом внутрихозяйственного охотустройства, а возможность принятия решений о создании данных территорий отдаётся на усмотрение и включается в полномочия хозяйствующих субъектов, осуществляющих долгосрочное пользование животным миром. С нашей точки зрения, такая правовая конструкция противоречит правовым нормам ФЗ О животном мире и приводит к ошибкам в правоприменении, примеры которых приводятся ниже.

Ввиду существующего противоречия норм федерального законодательства, а также нормативной неопределённости условий и критериев организации ЗООР, правового режима данных территорий на федеральном уровне в субъектах Российской Федерации осуществляется собственное правовое регулирование данных отношений, характеризующееся существенным разнообразием.

Так, решения о создании ЗООР принимаются на разных уровнях:

- высшими должностными лицами субъектов Российской Федерации (например, постановление губернатора Белгородской области от 04.05.2010 № 33 «О зонах охраны охотничьих ресурсов»);

- высшими исполнительными органами государственной власти субъектов Российской Федерации (например, постановление администрации Курской области от 07.08.2015 № 498-ПА «О зонах охраны охотничьих ресурсов на территории Курской области», постановление Правительства Самарской области от 03.10.2014 № 620 «Об утверждении Положения о зонах охраны охотничьих ресурсов на территории Самарской области и перечня и описания границ зон охраны охотничьих ресурсов на территории Самарской области»);

- уполномоченными органами исполнительной власти специальной компетенции субъектов Российской Федерации (например, приказ министерства природных ресурсов и экологии Омской области от 23.03.2017 № 20

«О создании Первотаровской зоны охраны охотничьих ресурсов»);

- долгосрочными охотпользователями (например, приказы региональной общественной организации «Ассоциация охотников и рыболовов Республики Башкортостан» от 12.12.2012 № 210-О «О создании зоны охраны охотничьих ресурсов в охотугодьях Благоварского отделения» [19], от 08.04.2013 № 062-О «О создании зоны охраны охотничьих ресурсов в охотугодьях Учалинского отделения» [20]).

Наличие столь разнообразной практики в рассматриваемой сфере вызвано различным толкованием положений федерального законодательства. Решения о создании ЗООР на территории субъекта Российской Федерации (за исключением ООПТ федерального значения) в силу нормативных предписаний статьи 21 ФЗ О животном мире вправе принимать только высшие исполнительные органы субъектов Российской Федерации. Долгосрочные охотпользователи в силу законоположений статьи 40 ФЗ О животном мире, определяющей права и обязанности пользователей животным миром, иными законоположениями ФЗ О животном мире, ФЗ Об охоте правами на создание ЗООР и определении их правового режима на закреплённых за ними территориях не наделены. Поэтому, считаем также ошибочными положения некоторых правовых актов субъектов Российской Федерации, определяющих, что правовой режим ЗООР, создаваемых в границах закреплённых охотничьих угодий, должен определяться документом внутрихозяйственного охотустройства (например, Указ Главы Удмуртской Республики от 25.04.2016 № 82 «Об утверждении Схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Удмуртской Республики»).

Содержание принимаемых решений о создании ЗООР органами государственной власти субъектов Российской Федерации также различно и может заключаться лишь в утверждении границ таких территорий без утверждения положения или других правовых норм, определяющих режим данных территорий (например, постановление Администрации Курской области от 07.08.2015 № 498-ПА «О зонах охраны охотничьих ресурсов на территории Курской области»), так и в утверждении границ и положения о данных территориях (например, постановление Правительства Самарской области от 03.10.2014 № 620 «Об утверждении Положения о зонах охраны охотничьих ресурсов на территории

Самарской области и перечня и описания границ зон охраны охотничьих ресурсов на территории Самарской области»).

Содержание положений о ЗООР также различно и сводится в основном к обеспечению различными правовыми средствами сохранения и воспроизводства охотничьих ресурсов и среды их обитания на данных территориях. Однако в ряде принятых субъектами Российской Федерации положений обращают на себя внимание отдельные элементы закрепляемого порядка организации ЗООР. Так, пунктом 1.3 Положения о зонах охраны охотничьих ресурсов на территории Самарской области, утверждённого постановлением Правительства Самарской области от 03.10.2014 № 620, определено, что «зоны охраны охотничьих ресурсов создаются решением Правительства Самарской области:

– на территории общедоступных охотничьих угодий Самарской области – по инициативе департамента охоты и рыболовства Самарской области;

– на территории закреплённых охотничьих угодий Самарской области – по инициативе охотпользователей по согласованию с департаментом».

Представленный способ организации ЗООР является типичным для ряда субъектов Российской Федерации. Он предусматривает, что организация таких территорий в границах закреплённых охотничьих угодий возможна только по инициативе долгосрочных охотпользователей. Полагаем, что отсутствие у специально уполномоченных государственных органов исполнительной власти в сфере охраны, федерального государственного надзора и регулирования использования объектов животного мира и среды их обитания полномочий по инициированию создания в границах закреплённых охотничьих угодий ЗООР не соответствует положениям статьи 21 ФЗ О животном мире. Принимая во внимание, что животный мир в Российской Федерации является государственной собственностью, а сохранение биологического разнообразия и обеспечение устойчивого существования и использования животного мира являются публичными экологическими интересами, необходимо констатировать, что именно государственные органы обязаны принимать необходимые и своевременные меры для охраны охотничьих ресурсов, поэтому должны обладать полномочиями по инициированию создания ЗООР в соответствии с разграничением полно-

мочий, установленным статьями 5–6.1 ФЗ О животном мире, статьями 32–34 ФЗ Об охоте, в том числе и в границах закреплённых охотничьих угодий.

Исследовав действующее фаунистическое законодательство, сложившуюся административную практику, принимая во внимание необходимость соблюдения прав и законных интересов долгосрочных охотпользователей, считаем, что деятельность по организации ЗООР должна включать в себя следующую последовательность административных процедур:

- 1) Инициирование создания ЗООР долгосрочным охотпользователем или уполномоченным органом исполнительной власти в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов.
- 2) Научное обоснование создания ЗООР, обеспечиваемое уполномоченным органом исполнительной власти в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов в соответствии с разграничением полномочий, установленным статьями 5–6.1 ФЗ О животном мире, статьями 32–34 ФЗ Об охоте.
- 3) Уведомление долгосрочного охотпользователя о создании ЗООР, выяснение его позиции относительно целесообразности принятия решения о создании такой зоны (в случае, если ЗООР создается в границах закреплённых охотничьих угодий).
- 4) Подготовка представления о создании ЗООР, осуществляемая уполномоченным органом исполнительной власти в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов и направляемое в федеральный орган исполнительной власти или высший исполнительный орган субъекта Российской Федерации.
- 5) Согласование проекта нормативно-правового акта о создании ЗООР с территориальным подразделением уполномоченного федерального органа исполнительной власти в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов по субъекту Российской Федерации (в случае, если ЗООР создаётся не в границах ООПТ федерального значения).
- 6) Принятие федеральным органом исполнительной власти или высшим исполнительным органом субъекта Российской Федерации решения о создании ЗООР в соответствии с разграничением полномочий, установленным статьями 5–6.1 ФЗ О животном мире, статьями 32–34 ФЗ Об охоте.
- 7) Внесение соответствующих изменений в схему размещения, использования и охраны охотничьих ресурсов субъекта Российской Федерации, а также схему использования и охраны охотничьего угодья.

Заключение

Таким образом, изучив действующее нормативно-правовое регулирование отношений по организации ЗООР, можем заключить, что охотничье законодательство не регламентирует или неудовлетворительно регламентирует вопросы о видах ЗООР, их правовом статусе, порядке организации, компетенциях субъектов правоотношений. В связи с отсутствием должного нормативного регулирования на федеральном уровне, на уровне субъектов Российской Федерации и локальном уровне осуществляется правовая регламентация отношений по организации ЗООР, характеризующаяся различным пониманием режима таких территорий, порядка и условий их организации, компетенции субъектов правоотношений, что может приводить к нарушению общих принципов управления природопользованием, несоблюдению норм федеральных законов. Указанные обстоятельства не способствуют достижению основных целей государственного управления в сфере охраны и использования объектов животного мира – сохранения биологического разнообразия, обеспечения устойчивого существования и устойчивого использования объектов животного мира, соблюдения прав и законных интересов граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей.

С целью устранения существующих дефектов правового регулирования нами разработаны предложения по совершенствованию действующего законодательства в рассматриваемой сфере общественных отношений. Полагаем целесообразным:

1. Разработать и определить перечень ЗООР, их правовой статус. Реализация данного предложения возможна разными способами: или закреплением данных сведений в ФЗ Об охоте; или посредством принятия правового акта об особенностях охраны, воспроизводства и использования охотничьих ресурсов в ЗООР; или посредством принятия типового или примерного положения о ЗООР. При этом, не исключается возможность одновременной реализации нескольких способов.

2. Внести в ФЗ Об охоте изменения, касающиеся определения порядка организации ЗООР. Считаем целесообразным принять порядок, описанный в настоящей статье. Полагаем, что долгосрочные охотпользователи должны быть наделены правом инициирования создания ЗООР в границах, закреплённых за ними охотничьих угодий. Органы исполни-

тельной власти субъекта Российской Федерации в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов должны быть наделены правом инициирования создания ЗООР, как в границах закреплённых охотничьих угодий, так и в границах общедоступных охотничьих угодий.

3. Разработать и утвердить нормативно-правовым актом уполномоченного федерального органа исполнительной власти в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов форму и требования к содержанию представления о создании ЗООР. Полагаем, что представление должно содержать сведения, изложенные нами в настоящей статье.

4. Внести в Приказ № 560 изменения, необходимые для устранения противоречий с ФЗ о животном мире в части, касающейся определения порядка организации ЗООР.

Литература

1. Куклин С.А. Охотничьи заказники Уральской области в начале 1927 года // Уральский охотник. 1927. № 11. С. 25–30.
2. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.
3. Дудник Н.И., Шепелева С.А. Концепция организации системы особо охраняемых природных территорий Тамбовской области // Вестник ВГУ. Серия География и геоэкология. 2004. № 1. С. 79–82.
4. Симонович Е.И., Сидельников В.В. Современное состояние охотфауны Нижнего Дона и ее рациональное использование // Успехи современного естествознания. 2013. № 3. С. 120–121.
5. Dudley N. Guidelines for applying protected area management categories. Gland, Switzerland: IUCN, 2008. 86 p.
6. The convention on biological diversity [Электронный ресурс] <https://www.cbd.int/> (Дата обращения: 22.11.2017).
7. Ecosystem approach. The conference of the parties decision VII/11 [Электронный ресурс] <https://www.cbd.int/> (Дата обращения: 22.11.2017).
8. Sustainable Use. The conference of the parties decision VII/12 [Электронный ресурс] <https://www.cbd.int/> (Дата обращения: 22.11.2017).
9. DeStefano S., DeGraaf R. Exploring the ecology of suburban wildlife // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2003. V. 1. No. 2. P. 95–101.
10. Theobald D., Miller J., Hobbs N. Estimating the cumulative effects of development on wildlife habitat // *Landscape and Urban Planning*. 1997. V. 39. P. 25–36.
11. Harden C., Woolf A., Roseberry J. Influence of exurban development on hunting opportunity, hunter distribution, and harvest efficiency of white-tailed deer // *BioOne*. 2005. V. 33. No. 1. P. 233–242.
12. Lauber T., Knuth B. Suburban residents' criteria for evaluating contraception and other deer management

techniques // Human Dimensions of Wildlife. 2000. V. 5. No. 1. P. 1–17.

13. Main M.B., Alien G.M. Landscape and seasonal influences on roadkill of wildlife in southwest Florida // Fla Sci. 2002. V. 65. No. 3. P. 149–158.

14. Messmer T., George S., Cornicelli L. Legal considerations regarding lethal and nonlethal approaches to managing urban deer // Wildlife Society Bulletin. 1997. V. 25. No. 2. P. 424–429.

15. Касаткин Ю.И. Охота и охрана охотничьих животных: антагонизм или единство // Влияние хозяйственной деятельности человека на популяции охотничьих животных и среду их обитания: Материалы научной конференции. Т. 2. Киров, 1980. С. 225–226.

16. Шулятьев А.А. Проблемы устойчивого использования охотничьих ресурсов и государственного надзора в сфере охоты // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2017. № 3 (6). С. 146–151.

17. Сафонов В.Г. К оценке значения охоты и охотничьего хозяйства // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2016. № 1. С. 28–30.

18. Житков Б.М. О некоторых условиях нашего охотничьего хозяйства // Охотник. 1927. № 8. С. 10.

19. Приказ региональной общественной организации «Ассоциация охотников и рыболовов Республики Башкортостан от 12.12.2012 № 210-О «О создании зоны охраны охотничьих ресурсов в охотугодах Благоварского отделения» [Электронный ресурс] <http://aoirrb.ru/wp-content/uploads/tmp48F-Copy.pdf/> (Дата обращения: 08.05.2017).

20. Приказ региональной общественной организации «Ассоциация охотников и рыболовов Республики Башкортостан» от 08.04.2013 № 062-О «О создании зоны охраны охотничьих ресурсов в охотугодах Учалинского отделения» [Электронный ресурс] <http://aoirrb.ru/wp-content/uploads/tmp1C5-Copy.pdf/> (Дата обращения: 08.05.2017).

References

1. Kuklin S.A. Hunting reserves of the Ural region in the beginning of 1927 // Uralskiy okhotnik. 1927. No. 11. P. 25–30 (in Russian).

2. Reymers N.F., Shtilmark F.R. Protected areas. Moskva: Mysl, 1978. 295 p. (in Russian).

3. Dudnik N.I., Shepeleva S.A. The concept of the organization of system of especially protected natural territories in Tambov region // Vestnik VGU. Seriya Geografiya i Geoekologiya. 2004. No. 1. P. 79–82 (in Russian).

4. Simonovich E.I., Sidelnikov V.V. Modern condition of the Lower Don hunting fauna and its rational use // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2013. No. 3. P. 120–124 (in Russian).

5. Dudley N. Guidelines for applying protected area management categories. Gland, Switzerland: IUCN., 2008. 86 p.

6. The convention on biological diversity [Internet resource] <https://www.cbd.int/> (Accessed: 22.11.2017).

7. Ecosystem approach. The conference of the parties decision VII/11 [Internet resource] <https://www.cbd.int/> (Accessed: 22.11.2017).

8. Sustainable Use. The conference of the parties decision VII/12 [Internet resource] <https://www.cbd.int/> (Accessed: 22.11.2017).

9. DeStefano S., DeGraaf R. Exploring the ecology of suburban wildlife // Frontiers in Ecology and the Environment. 2003. V. 1. No. 2. P. 95–101. doi: 10.1890/1540-9295(2003)001[0095:ETEOSW]2.0.CO;2.

10. Theobald D., Miller J., Hobbs N. Estimating the cumulative effects of development on wildlife habitat // Landscape and Urban Planning. 1997. V. 39. P. 25–36. doi: 10.1016/S0169-2046(97)00041-8.

11. Harden C., Woolf A., Roseberry J. Influence of exurban development on hunting opportunity, hunter distribution, and harvest efficiency of white-tailed deer // BioOne. 2005. V. 33. No. 1. P. 233–242. doi: 10.2193/0091-7648(2005)33[233:IOEDOH]2.0.CO;2.

12. Lauber T., Knuth B. Suburban residents' criteria for evaluating contraception and other deer management techniques // Human Dimensions of Wildlife. 2000. V. 5. No. 1. P. 1–17. doi: 10.1080/10871200009359169.

13. Main M.B., Alien G.M. Landscape and seasonal influences on roadkill of wildlife in southwest Florida // Florida Scientist Summer. 2002. V. 65. No. 3. P. 149–158.

14. Messmer T., George S., Cornicelli L. Legal considerations regarding lethal and nonlethal approaches to managing urban deer // Wildlife Society Bulletin. 1997. V. 25. No. 2. P. 424–429.

15. Kasatkin Yu.I. Hunting and protection of hunting animals: antagonism or unity // The impact of human activities on populations of game animals and their habitats: Materialy nauchnoy konferentsii. V. 2. Kirov, 1980. P. 225–226 (in Russian).

16. Shulyatyev A.A. Problems of sustainable use of game resources and state supervision in the field of hunting // Gumanitarnyye aspekty okhoty i okhotnichyego khozyaystva. 2017. No. 3 (6). P. 146–151 (in Russian).

17. Safonov V.G. To assess the importance of hunting and hunting economy // Gumanitarnyye aspekty okhoty i okhotnichyego khozyaystva. 2016. No. 1. P. 28–30 (in Russian).

18. Zhitkov B.M. About some of our hunting // Okhotnik. 1927. No. 8. P. 10 (in Russian).

19. The order of the regional public organization “Association of hunters and fishermen of the Republic of Bashkortostan” dated 12.12.2012 No. 210-O “On the establishment of a zone of protection of hunting resources in hunting Blagovar department” [Internet resource] <http://aoirrb.ru/wp-content/uploads/tmp48F-Copy.pdf/> (Accessed: 08.05.2017).

20. The order of the regional public organization “Association of hunters and fishermen of the Republic of Bashkortostan” dated 08.04.2013 No. 062-O “On the establishment of a zone of protection of hunting resources in hunting areas of the Uchalinsk department” [Internet resource] <http://aoirrb.ru/wp-content/uploads/tmp1C5-Copy.pdf/> (Accessed: 08.05.2017).

К юбилею Л. В. Кондаковой

Любовь Владимировна Кондакова – доктор биологических наук, профессор, многолетний член редколлегии нашего журнала в апреле отмечает свой юбилей.

Она родилась в семье служащего, участника Великой Отечественной войны и учителя начальных классов. С раннего детства она видела, как самоотверженно работает в школе мама, как уважают её родители, как любят ученики. Поэтому для Любови Владимировны не было иного пути: сначала педагогическое училище, потом естественно-географический факультет Кировского государственного педагогического института им. В. И. Ленина, затем работа в сельской школе, где она и встретила своего мужа, тоже выпускника пединститута. А потом жизнь повернулась так, что она вернулась в свой институт преподавателем, и вскоре состоялась встреча, определившая всю дальнейшую судьбу Любови Владимировны. Она поступила в аспирантуру на кафедру ботаники Кировского сельскохозяйственного института к выдающемуся советскому учёному, одному из создателей почвенной альгологии Эмили Адриановне Штиной. И с тех пор равнозначно доминирующими стали для неё два направления в работе – педагогическая и научная деятельность. Любовь Владимировна много сделала для развития своего института, впоследствии Вятского государственного гуманитарного университета: возглавляла кафедру методики начального обучения на факультете начальных классов, участвовала в создании химического факультета, на котором с 2000 по 2005 гг. была деканом, создала кафедру экологии, которую возглавляла с 1998 по 2016 гг. много лет. И кафедра, и факультет были одними из лучших в университете. Одновременно с административной деятельностью она успешно совмещала труд преподавателя. Сотни её бывших студентов успешно работают в школах области, в вузах, в экологических организациях.

И другая страсть её жизни – наука, почвенная альгология. Всю жизнь величайшим примером в жизни, науке, отношении к людям был её великий учитель – Э. А. Штина. Среди многочисленных учеников Эмили Адриановны Любовь Владимировна – была одной из самых любимых. Они обе – прирождённые флористы, определяя и изучая почвенные водоросли, цианобактерии, могли многие часы не вставать из-за микроскопа. Они детально описывали каждый новый встреченный вид, создавая своеобразную летопись альгофлоры почв Кировской области. Любовь Владимировна при этом создала уникальный альбом почвенных



водорослей, составленный из её рисунков. Эти рисунки такого качества, что сделали бы честь любому определителю водорослей.

Автор сотен статей и нескольких монографий, Любовь Владимировна внесла значительный вклад в развитие почвенной альгологии в России. Её докторская диссертация «Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги Европейской части России)» была посвящена изучению роли этих микрофототрофов в сельскохозяйственных, техногенных и урбанизированных почвах.

Свой опыт превосходного флориста, навыки выделения, определения и использования почвенных водорослей и цианобактерий она передаёт своим ученикам – бакалаврам, магистрантам, аспирантам.

Любовь Владимировна – надёжный друг, истинный соратник в научных исследованиях, деликатный, тонкий, умный, понимающий и сопереживающий человек. Она состоялась в жизни не только как преподаватель, исследователь, администратор, но и как преданная жена, любящая мать, нежная бабушка.

Мы поздравляем Любовь Владимировну с юбилеем. Желаем ей оптимизма, здоровья, дальнейших успехов во всём. Ей, как никому другому, подходят стихи Роберта Рождественского:

*«Современная женщина, современная женщина!
Суетою замотана, но, как прежде, божественна!
Пусть немного усталая, но, как прежде, прекрасная!
До конца непонятная, никому не подвластная!
Не бахвалится силою, но на ней, тем не менее,
И заботы служебные, и заботы семейные!
Всё на свете познавшая, все невзгоды прошедшая,
Остаётся загадкой современная Женщина!»*

От редколлегии журнала «Теоретическая и прикладная экология»
и коллектива лаборатории биомониторинга
Т. Я. Ашихмина

Индекс 82027, 48482



ISSN 1995-4301



9 771995 430004