



2016

*Теоретическая  
и прикладная*

**ЭКОЛОГИЯ**

ISSN 1995-4301

**№ 1**



**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
ЭКОЛОГИИ**

**МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ.  
МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ**

**МОНИТОРИНГ  
АНТРОПОГЕННО  
НАРУШЕННЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ**

**ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ  
СРЕД И ОБЪЕКТОВ**

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
РИСК  
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**ЭКОЛОГИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА**

**АГРОЭКОЛОГИЯ**

**СОЦИАЛЬНАЯ  
ЭКОЛОГИЯ**

**ПОПУЛЯЦИОННАЯ  
ЭКОЛОГИЯ**

**РЕГИОНАЛЬНАЯ  
ЭКОЛОГИЯ**

**ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**



# Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ № 1, 2016

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

Журнал включён в каталог периодических изданий Ульрих (Ulrich's Periodicals Directory), в библиографические базы Google Scholar и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Учредитель журнала ООО Издательский дом «Камертон»

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

**Зам. главного редактора В.В. Гутенёв**, д.т.н., профессор, первый зам. председателя Комитета Государственной Думы РФ по промышленности

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

**Зам. главного редактора И.Г. Широких**, д.б.н., зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства 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. Скугорева**, к.б.н., научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Журнал издаётся при поддержке ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет». По вопросам публикации статей обращаться: 610000, г. Киров, ул. Московская, 36. Тел. (8332) 37-02-77. E-mail: ecolab2@gmail.com

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 массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПФ № ФС 77-29059

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. Факс (495) 281-37-98 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. Тел. (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru  
Оригинал-макет – Татьяна Коршунова, фото на обложке – Александр Широких, перевод – Ирина Кондакова, Григорий Кантор, выпускающий редактор – Мария Зелаева  
Директор издательства «О-Краткое» Евгений Дрогов © Оформление. Издательство «О-Краткое»

Подписано в печать 15.03.2016. Тираж 1150 экз. Заказ № 13568.

Отпечатано в ООО «Кировская цифровая типография» 610000, г. Киров, ул. Энергетиков, 38

## ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННЫХ СОВЕТОВ ИД «КАМЕРТОН»

**Н.П. Лавёров** – председатель межведомственной комиссии при Совете безопасности РФ, академик РАН

## ПРЕЗИДИУМ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

**В.А. Грачёв** – д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, председатель Общественного совета Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору  
**В.И. Холстов** – д.х.н., директор Департамента реализации конвенционных обязательств Министерства промышленности и торговли РФ  
**В.Г. Ильницкий** – д.э.н., директор ОАО «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Кировпроект»

## ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

**В.А. Алексеев** – д.т.н., профессор Ижевского государственного университета  
**А.М. Асхабов** – д.г.-м.н., академик РАН, Председатель Президиума Коми НЦ УрО РАН  
**С.И. Барановский** – д.т.н., профессор, заместитель председателя Общественного Совета «Росатома», председатель Российского экологического конгресса  
**Л.И. Домрачева** – д.б.н., профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии  
**И.Е. Дубовик** – д.б.н., профессор Башкирского государственного университета  
**Г.П. Дудин** – д.б.н., профессор, зав. кафедрой биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии  
**Г.А. Евдокимова** – д.б.н., профессор, заместитель директора Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН  
**И.А. Жуйкова** – к.г.н., доцент Вятского государственного университета  
**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  
**Е.Ю. Колбовский** – д.г.н., профессор, в.н.с. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
**Э.И. Коломиец** – д.б.н., член-корреспондент НАН Беларуси, директор Института микробиологии НАН Беларуси  
**Л.В. Кондакова** – д.б.н., профессор, зав. кафедрой экологии Вятского государственного университета  
**А.В. Кучин** – д.х.н., член-корреспондент РАН, профессор, директор института химии Коми НЦ УрО РАН  
**В.Н. Лаженцев** – д.г.н., член-корреспондент РАН, профессор, советник РАН  
**В.З. Латыпова** – д.х.н., член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, профессор Казанского федерального университета  
**Ли Юй** – профессор, директор Института микологии Цзилинского аграрного университета, иностранный член РАН (КНР)  
**С.Г. Литвинец** – к.с.-х.н., и.о. проректора по науке и инновациям ВятГУ  
**В.А. Малинников** – д.т.н., профессор, проректор Московского государственного университета геодезии и картографии  
**А.А. Москалёв** – д.б.н., зав. лаб. молекулярной радиобиологии и геронтологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН  
**С.В. Пестов** – к.б.н., доцент Вятского государственного университета  
**О.Ю. Растегаев** – д.х.н., заместитель директора Государственного научно-исследовательского института промышленной экологии  
**С. А. Рубцова** – д.х.н., старший научный сотрудник, зам. директора Института химии Коми НЦ УрО РАН  
**В.П. Савиных** – д.т.н., член-корреспондент 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, директор Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого  
**Т.А. Трифонова** – д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
**М.Х. Хусейн** – д.б.н., профессор Университета Ассиут (Египет)  
**В.Т. Юнгблюд** – д.и.н., профессор Вятского государственного университета



# Theoretical and applied ECOLOGY

№ 1, 2016

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

The journal is included into Ulrich's Periodicals Directory, bibliographic databases Google Scholar and Russian Science Citation Index (RSCI)

The founder of the magazine Publishing house «Kamerton»

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

**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 Division RAS

**Vice-Editor-in-Chief V.V. Gutenev,**  
Doctor in Technical Sciences, Professor, First Deputy Chairman of the State Duma Committee on Industry

**Vice-Editor-in-Chief S. V. Degteva,**  
Doctor in Biology, Director of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS

**Vice-Editor-in-Chief I.G. Shirokikh,**  
Doctor in Biology, Rudnitskiy Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East

**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 Division 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: ecolab2@gmail.com

The edition is registered by Federal service for supervision in the sphere of mass communications, communication and protection of cultural heritage.  
Certificate of PF registration № FS 77-29059

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 Dynamoskiy proezd, Kirov, 610000  
Tel. +7 (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru.  
Designer – Tatiana Korshunova. Cover photo – Aleksandr Shirokikh.  
Translation – Irina Kondakova, Grigoriy Kantor.  
Managing editor – Maria Zelaeva  
Director of the publishing house «O-Kratkoe» Evgeniy Drogov  
© Publishing house «O-Kratkoe»

Printed in «Kirov digital printing house»  
38 Energetikov st., Kirov, 610000

## THE CHAIRPERSON OF THE EDITORIAL BOARDS OF THE PUBLISHING HOUSE «KAMERTON»

**N.P. Laverov** The Chairperson of Interdepartmental Commission of the Security Council of the Russian Federation, PRESIONMI, Academician of RAS

## OF THE EDITORIAL BOARD:

**V.A. Grachev** Doctor in Technical Sciences, Professor, corresponding member of RAS, Chairperson of the Social Council of the Federal Service for Ecological, Technological, and Atomic Supervision  
**V.I. Kholstov** Doctor in Chemistry, Director of the Conventional Obligations Implementation Department of the Industry and Trade Ministry of the Russian Federation  
**V.G. Ilitskiy** Doctor in Economics, Director of Ltd Research Project Institute «Kirovproect»

## THE EDITORIAL BOARD:

**V.A. Alexeyev** Doctor in Technical Sciences, Professor of Udmurt State University  
**A.M. Askhabov** Doctor in Geology and Mineralogy, Academician of RAS, Chairperson of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS  
**S.I. Baranovskiy** Doctor in Technical Sciences, Professor, Vice-Chairperson of the Rosatom Social Council, Chairperson of the Russian Ecological Congress  
**L.I. Domracheva** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State Agricultural Academy  
**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. Yevdokimova** Doctor in Biology, Professor, Vice-Director of Research Institute of the North Industrial Ecology, Kola SC of RAS  
**I.A. Zhuykova** Ph D in Geography, Associate Professor of Vyatka State University  
**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 Division RAS  
**E.Yu. Kolbovskiy** Doctor in Geography, the leading researcher, Professor of Lomonosov Moscow State University  
**E.I. Kolomiyyets** 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  
**A.V. Kuchin** Doctor in Chemistry, corresponding member of RAS, Professor, Director of the Institute of Chemistry of the Komi Science Centre of the Ural Division 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** acting Vice-Rector for Science and Innovation of Vyatka State University  
**V.A. Malinnikov** Doctor in Technical Sciences, Professor, Vice-Rector of Moscow State University of Geodesy and Cartography  
**A.A. Moskalev** Doctor in Biology, Chief of the Laboratory of Molecule Radiobiology and Gerontology of Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS  
**S.V. Pestov** PhD in Biology, Associate Professor of Vyatka State University  
**O.Yu. Rastegayev** Doctor in Chemistry, Vice-Director of State Research Institute of Industrial Ecology  
**S.A. Rubtsova** Doctor in Chemistry, senior researcher, Vice-Director of the Institute of Chemistry the Komi Science Centre of the Ural Division 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. Skapini** Doctor in Biology, Professor of Florence University (Italy)  
**V.A. Sysuev** Doctor in Technical Sciences, Academician of RAS, Director of Rudnitskiy Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East  
**T.A. Trifonova** Doctor in Biology, Professor of Lomonosov Moscow State University  
**M.Kh. Husseyin** Doctor in Biology, Professor of University of Assiut University (Egypt)  
**V.T. Yungblyud** Doctor in History, Professor of Vyatka State University

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

*С. Г. Скугорова, Т. Я. Ашихмина, А. И. Фокина,  
Е. И. Лялина* Химические основы токсического действия  
тяжёлых металлов (обзор) .....4

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ

*Г. Я. Кантор, Р. В. Селезнев, Е. В. Кантор*  
Мембранный потенциал твёрдоконтактного ионоселективного  
электрода (теория и численное моделирование) ..... 14  
*Д. Н. Липатов, А. В. Елисеева* Регрессионные модели  
для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв  
на растения северного Сахалина .....20

## МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*А. М. Абдувалиев, Б. М. Худайбергенова* Сезонная миграция  
загрязняющих веществ в поверхностных водах в результате  
деятельности горнодобывающей компании в Кыргызстане .....27  
*О. С. Пирогова, Л. В. Кондакова* Динамика альгосинузидов  
пойменных биогеоценозов государственного природного  
заповедника «Нургуш» .....33

## АГРОЭКОЛОГИЯ

*Л. И. Домрачева, Е. А. Горностаева* Реакция  
альго-цианобактериальных комплексов  
на возрастающие концентрации ионов меди в почве  
под различными сельскохозяйственными культурами .....38

## ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

*С. В. Осипов, С. М. Красношеев* Опыт изучения пирогенной  
динамики экосистем в таёжных и гольцовых ландшафтах  
Приамурья .....44  
*И. Е. Дубовик, М. Ю. Шарипова* Наземные и водные  
эпифитные цианопрокариоты и водоросли и возможность  
их использования в оценке состояния окружающей среды .....51  
*А. Г. Татаринцев, О. И. Кулакова* Первый опыт оценки  
риска исчезновения дневных чешуекрылых (Lepidoptera,  
Rhopalocera) по системе критериев и категорий  
Международного союза охраны природы  
на территории Республики Коми .....56  
*Е. В. Юркина, С. В. Пестов* Специфика регионального  
энтмомониторинга в условиях крупного северного города  
Европейской России .....64  
*В. М. Глушков* О внедрении новой системы мониторинга  
и квотирования в практику государственного мониторинга .....73

## ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

*С. П. Ли, Б. М. Худайбергенова, З. М. Пулатова,  
В. А. Прохоренко* Детоксицирующие свойства гуминовых  
препаратов по отношению к Cd (II), Pb (II), Cu (II) .....82

## РЕМЕДИАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ

*Т. Ю. Коршунова, С. П. Четвериков, О. Н. Логинов*  
Перспективы использования консорциума  
углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки  
нефтезагрязнённой почвы Крайнего Севера .....88

## ХРОНИКА

II Международная научно-практическая конференция,  
посвященная 105-летию со дня рождения профессора  
Эмилии Адриановны Штиной «Водоросли и цианобактерии  
в природных и сельскохозяйственных экосистемах» .....95

Правила для авторов .....98  
Положение о публикационной этике журнала  
«Теоретическая и прикладная экология» .....101

# CONTENTS

## THEORETICAL PROBLEMS OF ECOLOGY

*S. G. Skugoreva, T. Ya. Ashihmina, A. I. Fokina, E. I. Lyalina* Chemical grounds of toxic effect of heavy metals (review) ..... 4

## METHODOLOGY AND RESEARCH METHODS. MODELS AND FORECASTS

*G. Ya. Kantor, R. V. Selezenev, E. V. Kantor* The membrane potential of solid-state ion-selective electrode (theory and numerical simulation) ..... 14

*D. N. Lipatov, A. V. Eliseyeva* Regression models for assessment of the impact of soil contamination with oil on plants of northern Sakhalin ..... 20

## MONITORING OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED AREAS

*A. M. Abduvaliyev, B. M. Khudaybergenova* The seasonal migration of pollutants in surface waters as a result of the mining company's activities in Kyrgyzstan ..... 27

*O. S. Pirogova, L. V. Kondakova* Dynamics of algosynusia of bottomland meadow biogeocoenoses of the State nature reserve «Nurgush» ..... 33

## AGROECOLOGY

*L. I. Domracheva, E. A. Gornostayeva* The reaction of algo-cyanobacterial complexes on increasing concentration of copper ions in soil under different agricultural crops ..... 38

## POPULATION ECOLOGY

*S. V. Osipov, S. M. Krasnopeyev* Experience of investigation of ecosystem pyrogenic dynamics in the taiga and bare alpine landscapes of the Amur River region ..... 44

*I. E. Dubovik, M. Yu. Sharipova* Terrestrial and aquatic cyanoprokaryota and epiphytic algae and the possibility of their using in the environmental assessment ..... 51

*A. G. Tatarinov, O. I. Kulakova* The first experience of assessing extinction risk of butterflies (Lepidoptera, Rhopalocera) on the system of criteria and categories of the International Union for Conservation of Nature on the territory of the Komi Republic ..... 56

*E. V. Yurkina, S. V. Pestov* Specificity of regional entomological monitoring in a northern city of European Russia .... 64

*V. M. Glushkov* Implementation of the new system of monitoring and setting quotas in census of state monitoring .... 73

## ECOTOXICOLOGY

*S. P. Li, B. M. Khudaybergenova, Z. M. Pulatova, V. A. Prokhorenko* Detoxifying properties of humic preparations with respect to Cd (II), Pb (II), Cu (II) ..... 82

## REMEDIATION AND RECULTIVATION

*T. Yu. Korshunova, S. P. Chetverikov, O. N. Loginov* Prospects of using a consortium of hydrocarbon oxidizing microorganisms for cleaning oil polluted soil of the extreme north ..... 88

## THE CHRONICLE

II International scientific-practical conference dedicated to the 105th anniversary of birthday of professor Emilia Shtina «Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems» .... 95

Notes for contributors ..... 98

Regulations on publication ethics of the journal «Theoretical and applied ecology» ..... 101

## Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор)

© 2016. С. Г. Скугорева<sup>1,2</sup>, к.б.н., н.с., Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией, А. И. Фокина<sup>1</sup>, к.б.н., доцент, Е. И. Лялина<sup>1</sup>, ассистент кафедры химии, аспирант,

<sup>1</sup>Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

e-mail: skugoreva@mail.ru

В основе токсичности тяжёлых металлов лежат три механизма. Первый механизм определяется способностью тяжёлых металлов связывать функциональные группы биологически важных веществ организма, прежде всего блокировать сульфгидрильные группы SH-ферментов. В результате реакции ионов металлов с SH-группами образуются слабодиссоциирующие и нерастворимые соединения – меркаптиды. Образование меркаптидов сопровождается повреждением белков, нарушением функции, что инициирует развитие токсического процесса.

Второй механизм токсического действия тяжёлых металлов ( $M_T$ ) основан на вытеснении биогенных металлов ( $M_B$ ) из металлосодержащих комплексов ( $M_B L$ ). Если устойчивость комплекса  $M_T L$  больше, чем устойчивость  $M_B L$ , происходит смещение равновесия вправо и в организме накапливаются соединения  $M_T L$ , что приводит к нарушению нормальной работы организма. Данный механизм обусловлен близостью геометрических размеров и зарядов ионов биогенных и токсичных металлов.

Третий механизм обусловлен развитием окислительного стресса под действием тяжёлых металлов. Тяжёлые металлы, являющиеся активными окислителями-восстановителями (Fe, Cu, Cr, Co), непосредственно участвуют в окислительно-восстановительных реакциях в клетках, в результате чего образуется супероксид-ион  $\cdot O_2^-$ . Затем в ходе реакций Фентона и цикла Хабера-Вейса образуются пероксид водорода  $H_2O_2$  и гидроксильный радикал  $\cdot OH$ .

Воздействие неактивных металлов окислителей-восстановителей (Cd, Zn, Ni, Al и т. д.) приводит к возникновению окислительного стресса посредством взаимодействия с системой антиоксидантной защиты, нарушения электронно-транспортной цепи или индукции перекисного окисления липидов.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, токсичность, окислительный стресс, сульфгидрильные группы, активные формы кислорода, реакция Фентона, цикл Хабера-Вейса.

## Chemical groups of toxic effect of heavy metals (review)

S. G. Skugoreva<sup>1,2</sup>, T. Ya. Ashihmina<sup>1,2</sup>,

A. I. Fokina<sup>1</sup>, E. I. Lyalina<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Vyatka State University,

36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,

<sup>2</sup>Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,

28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

e-mail: skugoreva@mail.ru

Heavy metal (HM) toxicity is based on three mechanisms. The first mechanism is determined by the ability of HM to bind functional groups of biologically important substances of an organism and, what is the most important, to block sulfhydryl - SH enzyme groups. The reaction of metal ions with SH-groups cause forming insoluble and poorly dissociated compounds – mercaptides. Formation of mercaptides is accompanied with proteins damage and dysfunction which initiates toxic process.

The second mechanism of toxic action of HM ( $M_h$ ) is based on the displacement of nutrient metals ( $M_n$ ) of metal complexes ( $M_n L$ ). If  $M_h L$  stability exceeds  $M_n L$  stability equilibrium is shifted to the right, and  $M_h L$  compounds are accumulated in the body, which leads to malfunction of the body. This mechanism is due to the proximity of geometric dimensions and ionic charge of nutrients and toxic metals.

The third mechanism is due to development of oxidative stress caused by HM. Metals with redox capacity (Fe, Cu, Cr, Co) are directly involved in redox reactions in cells, which results in generation of superoxide ion ( $\cdot O_2^-$ ), and then hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and the hydroxyl radical ( $\cdot OH$ ) in Fenton Reaction and Haber-Weiss cycle. Impact of metals without redox capacity (Cd, Hg, Zn, Ni, Al) leads to oxidative stress through indirect mechanisms; such as interaction with antioxidant protection, violation of the electron transport chain or induction of lipid peroxidation.

**Keywords:** heavy metals, toxicity, oxidative stress, sulfhydryl groups, reactive oxygen species, Fenton reaction, Haber-Weiss cycle.

В настоящее время загрязнение биосферы тяжёлыми металлами (ТМ) представляет серьёзную проблему для окружающей среды (ОС) и здоровья человека [1]. ТМ обладают высокой токсичностью и степенью биоаккумуляции [2, 3]. Избыточные концентрации соединений ТМ в окружающей среде вызывают серьёзные нарушения живых организмов на уровне клетки, ткани, организма, популяции [4, 5]. Особенностью ТМ является то, что они устойчивы, не деградируют, их невозможно удалить из среды путём химической или биологической трансформации [6].

Токсические свойства ТМ были известны давно, однако особое внимание им стало уделяться лишь в последние несколько десятилетий. Это связано в первую очередь с усилением их роли в биологических процессах, обусловленным увеличением поступления этих элементов в ОС в ходе хозяйственной деятельности человека. Помимо этого, интерес к ТМ увеличился в результате возросшего объёма знаний об их влиянии на природные объекты, а также за счёт успехов в области анализа и повышения точности и чувствительности приборной базы, используемой в процессе контроля качества ОС [7].

В современном видении под механизмом токсического действия понимается взаимодействие на молекулярном уровне токсиканта с организмом, приводящее к развитию токсического процесса [8]. В основе механизма действия могут лежать как физико-химические, так и химические реакции взаимодействия токсиканта с биологическим субстратом. Токсический процесс, инициируемый физико-химическими эффектами, как правило, обусловлен растворением токсиканта в определённых компартментах клетки, тканях, организмах. При этом существенно изменяются их физико-химические свойства.

Часто в основе токсичности лежат химические реакции токсиканта с определёнными субстратами – компонентами живой системы [9]. В токсикологии любой структурный элемент биологической системы, с которым вступает в химическое взаимодействие токсикант, обозначают термином «рецептор». В таком прочтении это понятие ввёл в иммунохимию в начале XX века Пауль Эрлих.

Взаимодействие токсиканта с молекулярными мишенями происходит по лиганд-рецепторному механизму [10]. Спектр энергетических характеристик рецептор-лигандного взаимодействия широк: от образования слабых, легко разрушающихся связей, до фор-

мирования необратимых комплексов. Взаимодействие токсиканта со структурами-мишенями подчиняется тем же закономерностям, что и любая химическая реакция, протекающая вне организма и, следовательно, во многом зависит от свойств вещества.

Сильными токсикантами являются ТМ. По содержанию в живых организмах они являются микроэлементами. С точки зрения токсичности все микроэлементы делят на три группы [11]: эссенциальные микроэлементы (незаменимые факторы питания); неэссенциальные (необязательные для жизнедеятельности); токсичные.

*Эссенциальные микроэлементы* – микроэлементы, без которых организм не может расти, развиваться и совершать свой естественный жизненный цикл. К эссенциальным элементам относятся: железо, медь, цинк, марганец, хром, молибден, кобальт. Все остальные микроэлементы относятся к *неэссенциальным микроэлементам* [12].

Избыточное количество даже эссенциальных металлов оказывает угнетающее и токсическое действие на живые организмы. Кроме того, среди микроэлементов иногда выделяют группу элементов, за которыми закрепилось понятие «*токсичные*». Эта группа включает Hg, Cd, Pb и др. Они отличаются высоким сродством к физиологически важным органическим соединениям и способны инактивировать последние [13].

### Клеточные механизмы токсического действия тяжёлых металлов

Многие из ТМ представляют значительную опасность для человека и других живых организмов, так как обладают высокой токсичностью и степенью аккумуляции. Анализ и обобщение данных литературы позволяют выделить в качестве ведущих механизмов нарушения клеточного метаболизма при экспонировании биообъектов ТМ ферментотоксическое, мембранотоксическое действие и окислительный стресс (рис. 1) [14].

Одним из наиболее распространённых отрицательных эффектов ТМ является инактивация ферментов, которая сопровождается нарушением клеточного метаболизма и физиологических процессов. ТМ относят к ингибиторам общего действия, они подавляют действие всех ферментов. Часто торможение или прекращение действия ферментов под влиянием ТМ носит обратимый характер, и если в среду добавить вещества, образующие соединения

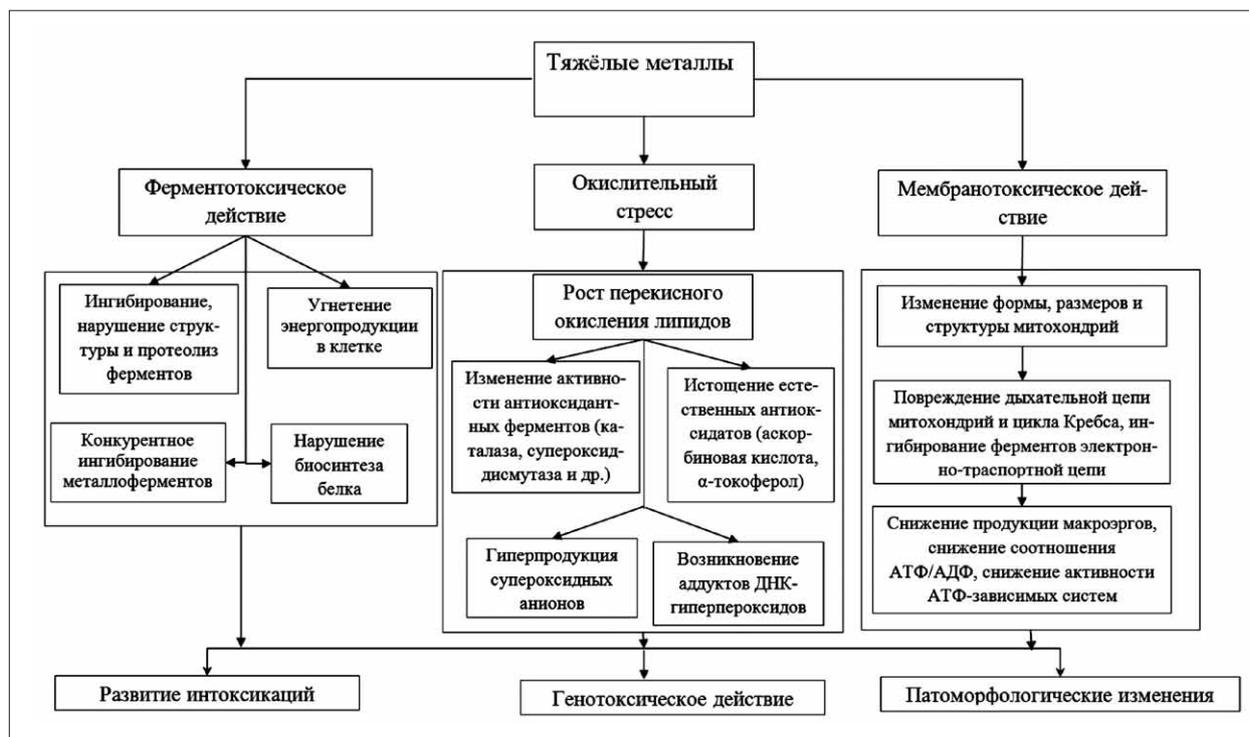


Рис. 1. Клеточные механизмы токсического действия тяжёлых металлов [ по: 14 ]

с этими металлами, то активность ферментов восстанавливается.

Ферментотоксическое действие ТМ обусловлено замещением в составе фермента необходимого металла и взаимодействием металла с сульфгидрильными группами (-SH) белковых молекул, характеризующимися высокой биологической активностью в плане осуществления биокаталитической, биосинтетической и энергетической функций [15].

В основе мембранотоксического действия ТМ, наряду с изменением свойств и функциональной активности мембраносвязанных белковых молекул, лежат нарушения в работе ионных каналов, а также электродинамических характеристик возбудимых биомембран.

Внешняя поверхность клеточной мембраны первой взаимодействует с металлом. Ионы ТМ изменяют конформацию мембранных белков и резко увеличивают проницаемость мембраны для ионов натрия, калия, хлора, кальция [16] и магния, что приводит к быстрому набуханию клеток, распаду их цитоскелета [17]. В мембранах образуются бреши, что снижает их сопротивление и резко увеличивает проницаемость.

Взаимодействовать металлы могут с любыми мембранными образованиями: митохондриями, эндоплазматическим ретикуломом, лизосомами [14]. Присоединение металлов к лигандам мембранных структур приводит к

нарушению процессов активного или пассивного трансмембранного транспорта.

ТМ относятся к группе митохондриальных ядов, повреждающих различные звенья процессов биоэнергетики, веществ, действующих на шероховатый (нарушение процессов синтеза белка) и гладкий эндоплазматический ретикулум (индукция или угнетение метаболизма ксенобиотиков), лизосомальные мембраны (провоцируют автолиз клеток) и др. [8].

К числу относительно недавно раскрытых закономерностей в реализации токсичности ТМ следует отнести окислительный стресс, в механизмах развития которого ведущую роль играет нарушение баланса активности про- и антиоксидантных систем, генерирование свободных радикалов кислорода, усиление процессов перекисного окисления липидов на фоне угнетения энергопродукции митохондриями и снижения энергетического потенциала клетки [17]. С этими исходными изменениями метаболизма клетки связаны многочисленные морфофункциональные нарушения в органах и тканях, в совокупности составляющие патогенетическую картину развивающихся интоксикаций.

### Химические основы токсического действия тяжёлых металлов

В основе токсического действия ТМ лежат следующие механизмы: связывание функци-

ональных групп биологических молекул; вытеснение эссенциальных металлов из металл-содержащих комплексов; генерация активных форм кислорода.

**Связывание функциональных групп биомолекул**

Один из важнейших механизмов токсического действия ТМ на организм определяется их способностью связывать функциональные группы биологически важных веществ организма. Катионы ТМ могут образовывать координационно-ковалентные связи с аминокислотами (АК), белками, ДНК, РНК, липопротеидами (веществами мембран клеток), гормонами и др. (лиганды), связывая кислот-, азот- и серосодержащие группы [18].

Согласно теории мягких и жёстких кислот-оснований Г. Н. Льюиса все ионы ТМ являются кислотами (акцепторами пары электронов), их можно разделить на три группы: мягкие ( $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $CH_3Hg^+$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Tl^+$ ); промежуточные ( $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ); жёсткие ( $Co^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Sr^{2+}$ ) кислоты.

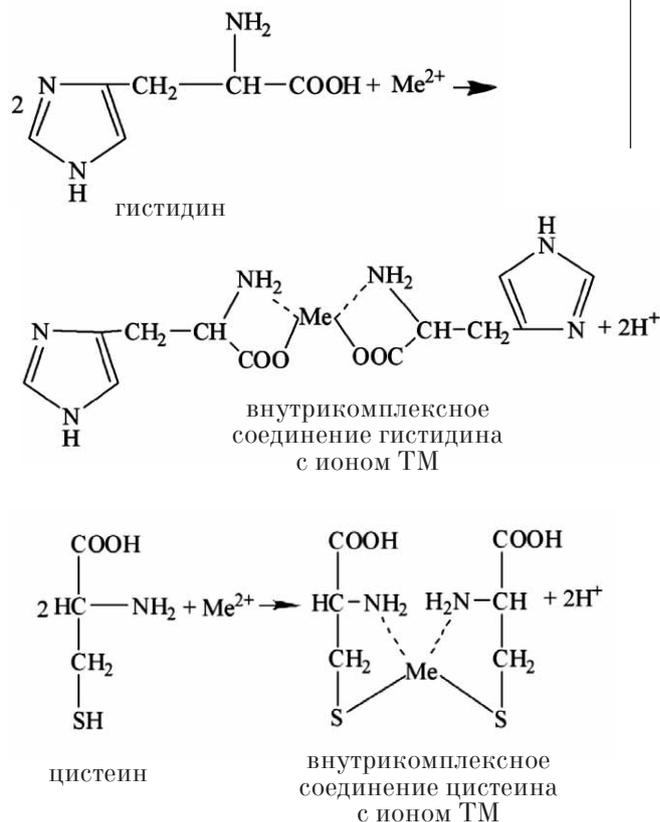
Мягкие кислоты реагируют с мягкими основаниями (S), промежуточные – с промежуточными (ароматический N в гистидинах), жёсткие – с жёсткими (O, алифатический N). Таким образом, существует определённое сродство ионов ТМ к серо-, азот- и кислородсодержащим функциональным группам биомолекул. Данный принцип известен в химии как принцип жёстких и мягких кислот и оснований [19].

При оценке токсичности иона металла важным является показатель устойчивости его связи с лигандом. По величине устойчивости связи ионов ТМ с серосодержащими лигандами получен такой ряд:  $Hg^{2+} > CH_3Hg^+ > Pb^{2+} > Cd^{2+}$  [20].

Одной из важных характеристик при реакциях с ионами металлов является скорость обмена лигандами внутри и вне сферы координации иона металла. Например, по ряду физико-химических свойств, таких как величина иона,  $Ni^{2+}$  практически не отличается от  $Zn^{2+}$ . В то же время  $Zn^{2+}$  входит в состав многих ферментов, а  $Ni^{2+}$  известен как составная часть только ограниченного числа ферментов растений, что, по всей вероятности, обусловлено тем, что  $Zn^{2+}$  обменивает свои лиганды в 1000 раз быстрее, чем  $Ni^{2+}$ . Таким образом, различия в действии металлов с близкими свойствами определяются различиями в скорости лигандного обмена [21].

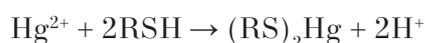
Катионы металлов, являющиеся комплексообразователями, с АК образуют вну-

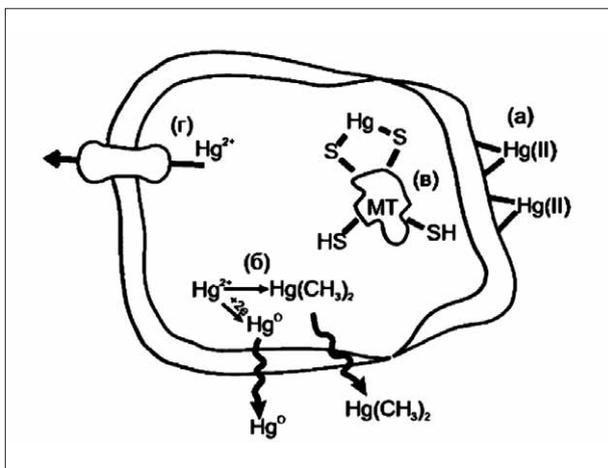
трикомплексные соединения (хелаты). Из АК большой способностью связывать ионы металлов обладают гистидин, содержащий в молекуле имидазольное кольцо, и цистеин, в молекуле которого имеется сульфгидрильная группа:



В большинстве случаев в основе токсического действия ТМ лежит блокирование функционально активных групп белков-ферментов и структурных белков. Наибольшее значение имеет блокирование сульфгидрильных (тиоловых, меркаптидных) групп (-SH), которым приписывается исключительная роль в осуществлении биохимических процессов и поддержании жизнедеятельности. С веществами, содержащими сульфгидрильные группы, связано проведение нервного импульса, тканевое дыхание, мышечное сокращение, проницаемость клеточных мембран и другие важнейшие функции [22]. Под действием ТМ блокируются также аминные (-NH<sub>2</sub>), карбоксильные (-COOH) и другие группы.

Взаимодействие токсиканта с молекулярными мишенями происходит по лиганд-рецепторному механизму [10]. Химическими рецепторами для соединений ртути (II) служат тиоловые (сульфгидрильные) группы (-SH):





**Рис. 2.** Механизмы взаимодействия соединений металлов с клеткой: а – связывание с мембраной; б – восстановление и/или метилирование с образованием летучих соединений; в – комплексообразование с металлотионеином (MT); г – выведение ионов через ионные каналы

Без высокой химической специфичности в системе токсикант–рецептор трудно представить себе подобные реакции. Действительно, размер иона  $Hg^{2+}$  составляет 100 пкм, а длина клетки в  $10^6$  раз больше (100 мкм). Без специфичности взаимодействия ион  $Hg^{2+}$  был бы не способен отыскать нужный рецептор.

На рисунке 2 показаны различные механизмы взаимодействия соединений металлов с клеткой на примере ртути (II).

Весьма прочный комплекс с тиогруппой, характеризуемый величиной  $pK = 15,7$ , образует катион метилртути  $CH_3Hg^+$ . В настоящее время установлено, что ионы ртути именно по этому механизму ингибируют более 100 различных ферментов. Из-за такого действия ионы свинца, ртути и кадмия относят к категории тиоловых ядов [23].

Все тиоловые яды объединяет избирательная способность вступать в химическое взаимодействие с сульфгидрильными, или тиоловыми, группами различных макромолекул организма, в первую очередь ферментных и других белковых структур, а также некоторых аминокислот.

К числу ферментов, содержащих сульфгидрильные группы, относятся: гидролазы (амилаза, липаза, холинэстераза, уреаза и др.), оксидоредуктазы (алкогольдегидрогеназа, аминоксидазы, дегидрогеназы яблочной, янтарной, олеиновой кислот и др.), фосфатазы (аденозинтрифосфатаза, миокиназа, креатинфосфокиназа, гексокиназа и др.), ферменты антирадикальной защиты клетки (глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза, глутатион-5-трансфераза, каталаза).

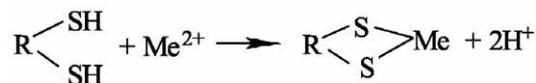
Под действием ТМ в высоких концентрациях активность большинства ферментов снижается. С другой стороны, активность некоторых ферментов, в особенности антиоксидантных, может повышаться. Для большинства ферментов остаётся малоизученным, является ли изменение их активности следствием прямого действия ТМ (за счёт связывания с SH-группами, гистидином или вытеснения металла из активного центра металлофермента), либо они влияют опосредованно через цепь реакций, воздействуя на экспрессию соответствующих генов, либо путём снижения количества субстрата [20].

Рибосомы клеток млекопитающих содержат около 120 сульфгидрильных групп, причём примерно половина из них имеет функциональное значение для осуществления белкового синтеза. Гормоны полипептидной структуры, такие как инсулин и глюкагон, также содержат сульфгидрильные группы в молекулах.

Прежде всего надо отметить, что в результате реакции ионов металлов с SH-группами образуются слабодиссоциирующие и, как правило, нерастворимые соединения – меркаптиды. При этом одновалентные металлы реагируют по такой общей схеме [24]:



Если металлический ион двухвалентный, то он блокирует одновременно две SH-группы:



Образование комплекса токсиканта с SH-группами биомолекул сопровождается их повреждением, нарушением функции, что и инициирует развитие токсического процесса [25].

На синтезе соединений, содержащих в своём составе свободные сульфгидрильные группы (глутатион, фитохелатины и металлотионеины), основана детоксикация ионов ТМ в клетке. Установлено, что при действии ионов ртути  $Hg^{2+}$  на растения ячменя увеличивалось содержание SH-групп в белковой фракции [24]. Ионы ртути, обладая высоким сродством к данным функциональным группам, взаимодействуют с ними с образованием менее токсичных соединений.

**Вытеснение эссенциальных металлов из металлосодержащих комплексов**

Другой механизм токсического действия ионов ТМ основан на вытеснении эссенциальных металлов из металлосодержащих ком-

плексов [23], что можно записать в виде схемы реакции [15]:



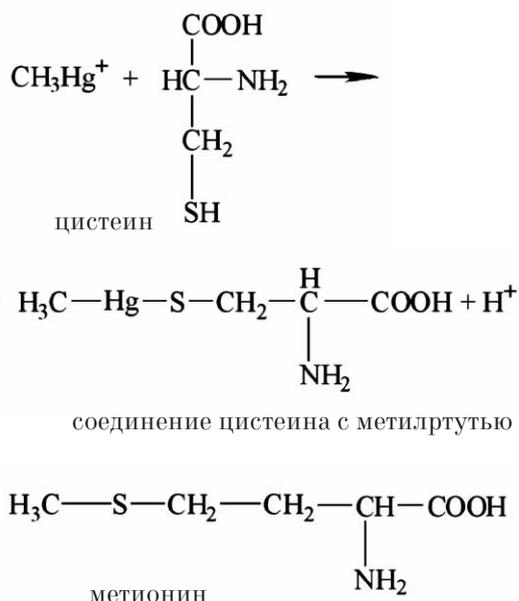
где  $M_oL$  – комплекс иона биогенного металла  $M_o$  (Fe, Zn, Cu, Co) с биоорганическим лигандом  $L$  (например, порфирином);  $M_t$  – ион ТМ.

Если устойчивость комплекса  $M_tL$  больше, чем устойчивость  $M_oL$ , происходит смещение равновесия вправо и в организме накапливаются соединения  $M_tL$ , что приводит к нарушению нормальной работы организма.

По данному механизму происходит дезактивация участвующих в синтезе гема ферментов карбоангидразы и аминолевулинатдегидрогеназы в результате замены содержащегося в них иона  $Zn^{2+}$  на  $Hg^{2+}$  или на  $Pb^{2+}$  [7]. Механизм действия свинца по типу конкурентного ингибирования связан с его способностью замещать двухвалентные ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  и др.) и моновалентные ( $K^+$ ,  $Na^+$  и др.) катионы, оказывая влияние на различные биологические процессы в организме [27].

В силу близких геометрических размеров, заряда и поляризуемости комплексов, образуемых ионами многих металлов с клеточными лигандами, проявляется способность имитировать свойства эндогенных субстратов (эффект молекулярной и ионной мимикрии), способность подменять аминокислоты, гормоны и нейромедиаторы.

Образуемый метилртутью и аминокислотой цистеином комплекс имитирует незаменимую аминокислоту метионин, участвующую в синтезе адреналина и холина [23]. Такая подмена нарушает ход естественных процессов в организме.



Близость атомных радиусов  $Pb^{2+}$  и  $Ca^{2+}$  позволяет иону свинца заменять последний в важнейших регуляторных процессах, обуславливая его аккумуляцию и депонирование в костях и перманентное поступление в кровь [28].

Ртуть легко замещает кобальт в корриноидах, нарушая метаболические реакции, связанные с витамином  $B_{12}$  [29].

ТМ могут играть роль антиметаболитов, образовывать стабильные соединения с метаболитами, инактивируя их или ускоряя процессы их катаболизма. Например, ион  $Cs^+$  по химическим свойствам подобен иону  $K^+$ . В результате моновалентного катионного транспорта  $Cs^+$  поступает в клетки, замещает внутриклеточный  $K^+$ , что приводит к нарушению биологических процессов, в которых участвует  $K^+$  [30].

### Окислительный стресс

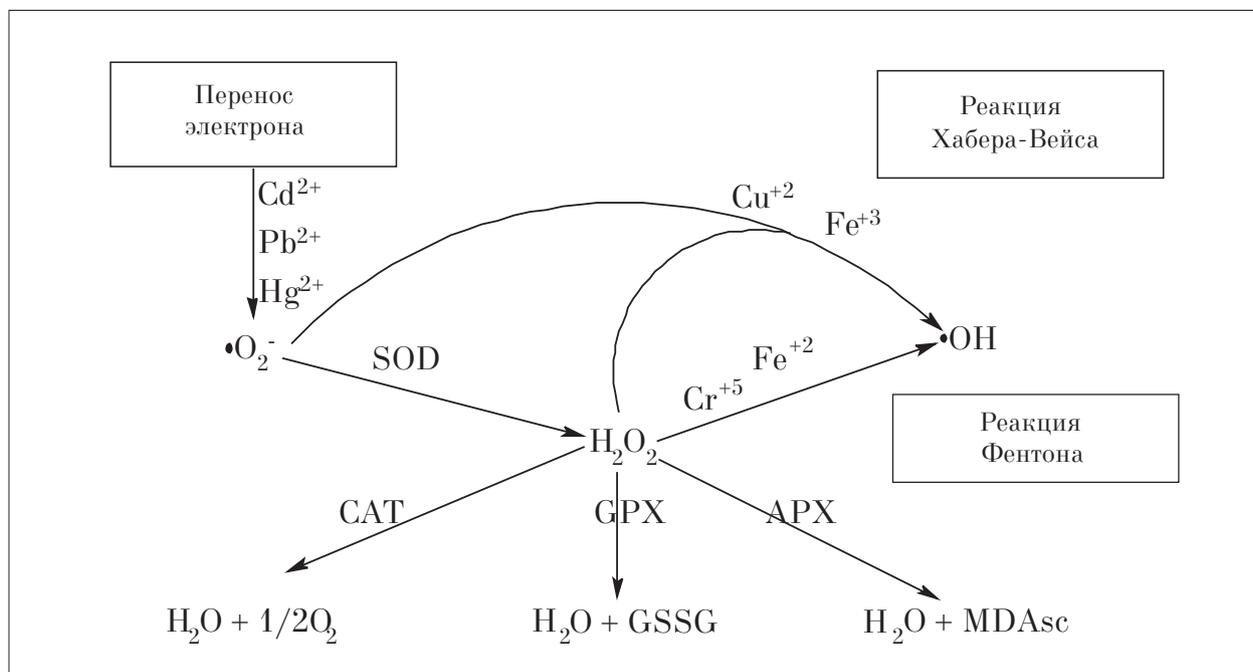
Одним из важных и универсальных механизмов токсического действия ТМ на организм является их способность приводить к окислительному стрессу [31, 32]. В условиях стресса повышается концентрация активированных форм кислорода (АФК). К АФК относятся свободно-радикальные частицы ( $\cdot O_2^-$ ,  $\cdot OH$ ,  $\cdot RO_2$ ) и нейтральные молекулы ( $H_2O_2$ ,  $O_3$ ).

В ответ на окислительный стресс возрастает активность антиоксидантных ферментов аскорбат-глутатионового цикла (каталазы, пероксидазы, супероксиддисмутазы, глутатионредуктазы, аскорбатоксидазы), обеспечивающих защиту клетки от свободных радикалов [33].

Доказано, что активная генерация АФК наблюдается при действии ионов железа, меди, цинка, никеля, алюминия, кадмия, свинца и др. В результате повышенной генерации АФК в клетках может произойти окисление липидов, углеводов, белков, повреждение ДНК и РНК, дезорганизация цитоскелета. Интоксикация ТМ индуцирует окислительный стресс, так как они участвуют в нескольких различных типах механизмов, генерирующих АФК (рис. 3) [34].

В больших концентрациях АФК вызывают различные окислительные изменения в клетке: повреждают нуклеиновые кислоты, белки, останавливают клеточный цикл, вызывают апоптозные изменения. АФК инициируют реакции перекисного окисления липидов (ПОЛ), приводящие к повреждению клеточных мембран [31].

АФК реагируют с SH-группами белков с образованием сульфгидрильных радикалов. Сульфгидрильные радикалы затем взаимодействуют с образованием дисульфидов либо



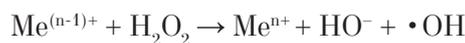
**Рис. 3.** Тяжёлые металлы вызывают генерацию АФК в клетке [34].  
 SOD – супероксиддисмутаза; CAT – каталаза; GPX – глутатионпероксидаза, APX – аскорбатпероксидаза, GSSG – глутатиондисульфид, MDAsc – монодигидроаскорбат

окисляются кислородом до производных сульфоновой кислоты. Окислительная модификация белков изменяет аминокислотные остатки, нарушает третичную структуру, а также вызывает агрегацию и денатурацию. В результате снижается или исчезает функциональная активность белков.

С точки зрения окислительно-восстановительной активности ТМ могут быть разделены на две группы: активные (Fe, Cu, Cr, Co) и неактивные (Cd, Zn, Ni, Al и т. д.) [35]. Активные ТМ непосредственно участвуют в окислительно-восстановительных реакциях в клетках, в результате чего образуется супероксид-ион  $\bullet\text{O}_2^-$ . Затем в ходе реакций Фентона и цикла Хабера-Вейса образуются пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  и гидроксильный радикал  $\bullet\text{OH}$ .

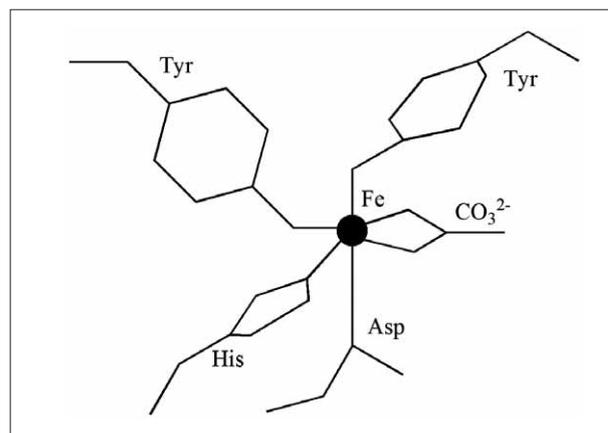
Воздействие на растения неактивных металлов окислителей-восстановителей также приводит к возникновению окислительного стресса с помощью косвенных механизмов, таких как взаимодействие с системой антиоксидантной защиты, нарушение электронно-транспортной цепи или индукции перекисного окисления липидов.

Ключевая роль в генерации АФК отводится в настоящее время так называемой **реакции Фентона**, или реакции разложения перекисей с образованием высокореакционных гидроксильных радикалов в присутствии металлов переменной валентности (железо, медь и др.):



На этом этапе именно металлопротеины регулируют образование свободных радикалов, поэтому и считаются важными членами системы антиоксидантной защиты. К ним относятся белки семейства трансферринов (рис. 4), церулоплазмин и др., которые, связывая ионы металлов переменной валентности, препятствуют их вовлечению в реакции Фентона.

Такие металлы, как Cu, Fe, Mn, Co, V, обладающие переменной валентностью, могут непосредственно участвовать в создании высокотоксичных гидроксильных радикалов в реакциях Хабера-Вейса, производя гидрок-

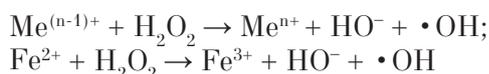


**Рис. 4.** Трансферрин: Asp, His, Tyr – остатки соответственно аспарагиновой кислоты, гистидина, тирозина

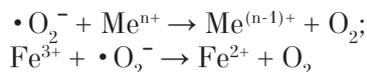
Клеточные антиоксидантные ферменты [34]

Ферменты	Катализируемые реакции
Супероксиддисмутаза	$2 \cdot O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$
Каталаза	$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$
Глутатионпероксидаза	$H_2O_2$ или $ROOH + 2GSH \rightarrow 2H_2O$ или $ROH + GSSG$
Аскорбатпероксидаза	$H_2O_2 + \text{аскорбат} \rightarrow H_2O + \text{монодегидроаскорбат}$
Тиоредоксин	$Prot-S_2 + Prot'(SH)_2 \rightarrow Prot(SH)_2 + Prot-S_2$
Пероксиредоксин	$ROOH + R'(SH)_2 \rightarrow ROH + R'S_2 + H_2O$
Глутатионредуктаза	$GSSG + NAD(P)H + H^+ \rightarrow 2GSH + NAD(P)^+$

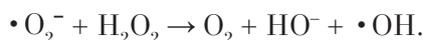
сильные радикалы  $HO \cdot$  из пероксида водорода  $H_2O_2$  и супероксид-иона  $\cdot O_2^-$  [36].



Супероксид обеспечивает восстановление металла:

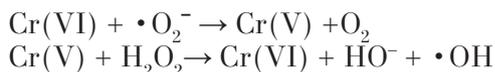


Суммарная реакция (цикл Хабера-Вейса) – это катализируемое металлом восстановление пероксидов посредством супероксида:



Металлы неактивные окислители-восстановители ( $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  и  $Hg^{2+}$ ) могут повысить прооксидантный статус через снижение пула антиоксиданта глутатиона (GSH), активируя кальций-зависимые системы и опосредовано влияя на процессы с участием железа. Эти ТМ металлы могут также нарушить электронную цепь фотосинтеза, что приводит к образованию  $\cdot O_2^-$  и  $O_2$  [37].

Такие металлы, как Cr (VI), приводят к генерации гидроксильных радикалов  $\cdot OH$  из  $H_2O_2$  по реакции Фентона [38]:



Что касается высокомолекулярных соединений, аэробные организмы экспрессируют ферменты, которые контролируют уровень АФК. Супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, аскорбатпероксидаза, тиоредоксин и пероксиредоксин считаются основными природными антиоксидантными ферментами (рис. 3). В таблице приведены реакции, катализируемые данными ферментами [34].

Пероксиредоксин катализирует распад алкильных пероксидов на воду и на соответствующие им спирты. Каталаза и глутатионпероксидаза катализируют образование  $H_2O$  при разрушении  $H_2O_2$  и  $ROOH$  соответственно, в то время как аскорбатпероксидаза катализирует переход  $H_2O_2$  в  $H_2O$  с помощью аскорбата как донора электронов. Супероксиддисмутаза, катализирующая диспропорционирование  $\cdot O_2^-$  на  $O_2$  и  $H_2O_2$ , была названа первой линией клетки в защите от АФК [39].

Таким образом, в основе токсичности ТМ лежит ферментотоксическое, мембранотропное действие и окислительный стресс. Химическую основу токсичности ТМ составляет их способность связывать функциональные группы биологически важных веществ организма (прежде всего сульфгидрильные группы ферментов), вытеснять эссенциальные металлы из металлсодержащих комплексов, а также генерировать активные формы кислорода. Механизмы токсичности не взаимоисключают друг друга и могут проявляться одновременно.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских учёных № МК-3964.2015.5.*

### Литература

1. Ensley B.D. Rational for use of phytoremediation // Phytoremediation of Toxic Metals – Using Plants to Clean Up the Environment / Eds. I. Raskin, B.D. Ensley. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. P. 3–12.
2. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. 1987. 142 с.
3. Фокина А.И., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Кондакова Л.В. Адаптационные резервы почвенных природных биоплёнок с доминированием цианобактерий рода *Phormidium* // Сибирский экологический журнал. 2015. Т. 22. № 6. С. 842–851.
4. Фокина А.И., Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю. Тяжёлые металлы как фактор изменения метаболизма у микроорганизмов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 5–18.

5. Фокина А.И., Олькова А.С., Лялина Е.И., Даровских Л.В. Исследование закономерностей биоаккумуляции меди представителями автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 6 (151). С. 50–55.
6. Prasad M.N.V., Freitas H. Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology // Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology and bioremediation / Eds. M.N.V. Prasad, K.S. Sajwan, R. Naidu. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. Chapter 25. P. 483–506.
7. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Эко-токсикология и проблемы нормирования. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 165 с.
8. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: Учебник для слушателей и курсантов военно-медицинских вузов / Под ред. С.А. Куценко. СПб.: Изд-во Военно-медицинской академии, 2003. 524 с.
9. Куценко С.А. Основы токсикологии. С-Пб.: 2002. 395 с. [http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem\\_common\\_u/toxicology.pdf](http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxicology.pdf).
10. Токсикологическая химия: Учебник для вузов / Под ред. Т.В. Плетнёвой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. 512 с.
11. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
12. Лелевич В.В. Биологическая химия. Гродно: ГрГМУ, 2009. 316 с.
13. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, 1991. 151 с.
14. Шафран Л.М., Большой Д.В., Пыхтеева Е.Г., Третьякова Е.М. Роль лизосом в механизме защиты и повреждения клеток при действии тяжёлых металлов // Современные проблемы токсикологии, 2004. № 3. С. 17–24.
15. Ершов Ю.А., Плетнева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989. 272 с.
16. Freitas A.J., Rocha J.B., Wolosker H., Souza D.O.G. Effects of Hg<sup>2+</sup> and CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> on Ca<sup>2+</sup> fluxes in rat brain microsomes // Brain Research. 1996. V. 738. Is. 2. P. 257–264.
17. Минибаева Ф.В., Гордон Л.Х. Продукция супероксида и активность экстраклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 3. С. 459–464.
18. Бингам Ф.Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Под ред. Х. Зингеля, А. Зингель. М.: Мир, 1993. 368 с.
19. Пирсон Р. Дж. Жёсткие и мягкие кислоты и основания // Успехи химии. 1971. Т. 40. Вып. 7. С. 1259–1282.
20. Общая токсикология / Под ред. Б.А. Курляндского и В.А. Филова. М.: Медицина, 2002. 608 с.
21. Серёгин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. Т. 53. № 2. С. 285–308.
22. Торчинский Ю.М. Сульфгидрильные и дисульфидные группы белков. М.: Наука, 1971. 229 с.
23. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. пособие. СПб: Химиздат, 1999. 144 с.
24. Оксенгендлер Г.И. Яды и противоядия. М.: Наука, 1982. 192 с.
25. Петров В.И., Ревяко Т.И. Наркотики и яды: Психоделики и токсические вещества, ядовитые животные и растения. М., 2002. 340 с.
26. Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Головки Т.К., Ашихмина Т.Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртути. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 153 с.
27. Lidsky T.I., Schneider J.S. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates // Brain. 2003. Vol. 126. P. 5–19.
28. Тарасов А.В., Смирнова Т.В. Основы токсикологии: учебное пособие. М.: Маршрут, 2006. 160 с.
29. Зинина О.Т. Влияние некоторых тяжёлых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. Хабаровск, 2001. № 4. С. 99–105.
30. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. Научные основы эcobиотехнологии: учебное пособие для студентов. М.: Мир, 2006. 504 с.
31. Башмаков Д.И., Лукаткин А.С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжёлых металлов у высших растений / Под ред. А.С. Лукаткина. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2009. 236 с.
32. Stohs S.J., Bagchi D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions // Free Radical Biology & Medicine, 1995. Vol. 18. № 2. P. 321–336.
33. Schickler H., Caspi H. Response of Antioxidative Enzymes to Nickel and Cadmium Stress in Hyperaccumulator Plants of Genus Alyssum // Physiol. Plant. 1999. Vol. 105. P. 39–44.
34. Sigaud-Kutner T.C.S., Leitaõ M.A.S., Okamoto O.K., Morse D., Colepicolo P. Heavy metal-induced oxidative stress in algae // J. Phycol., 2003. V. 39. P. 1008–1018.
35. Hossain M.A., Piyatida P., Teixeira da Silva J.A., Fujita M. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation // Journal of Botany. Volume 2012. Article ID 872875. 37 p.
36. Winterbourn C.C. Superoxide-dependent formation of hydroxyl radicals in the presence of iron salts is a feasible source of hydroxyl radicals in vivo // Biochem. J. Lett. 1982. V. 205. P. 461–463.
37. Asada K., Takahashi M. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis // In Kyle D. J., Osmond C., Arntzen C. J. [Eds.] Photoinhibition. Elsevier, New York. 1987. P. 227–297.
38. Shi X., Dalal N.S. Evidence for a Fenton-type mechanism for the generation of OH radicals in the reduction of Cr (VI) in cellular media // Arch. Biochem. Biophys. 1990. V. 281. P. 90–95.
39. Hassan H.M., Scandalios J.M. Superoxide dismutases in aerobic organisms / In Stress Responses in Plants: Adaptation and Accumulation Mechanisms / Eds. R.G. Alscher, J.R. Cumming. Wiley-Liss, New York, 1990. P. 175–199.

## References

1. Ensley B.D. Rational for use of phytoremediation // Phytoremediation of Toxic Metals – Using Plants to Clean Up the Environment / Eds. I. Raskin, B.D. Ensley/ New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000. P. 3–12.
2. Alekseev Yu.V. Heavy metals in soils and plants. L.: Agropromizdat. 1987. 142 p. (in Russian)
3. Fokina A.I., Gornostaeva E.A., Ogorodnikova S.Yu., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Kondakova L.V. Adaptive soil reserves of natural biofilms with the dominance of cy-

- anobacteria genus *Phormidium* // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2015. T. 22. № 6. P. 842–851. (in Russian)
4. Fokina A.I., Ashihmina T.Ya., Domracheva L.I., Gornostaeva E.A., Ogorodnikova S.Yu. Heavy metals as a factor of change in metabolism of microorganisms (review) // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015. № 2. P. 5–18. (in Russian)
  5. Fokina A.I., Olkova A.S., Lyalina E.I., Darovskikh L.V. Investigation of bioaccumulation of copper by representatives of autotrophic and heterotrophic microorganisms // *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye i tehnicheckie nauki*. 2015. № 6 (151). P. 50–55. (in Russian)
  6. Prasad M.N.V., Freitas H. Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology // *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology and bioremediation* / Eds. M.N.V. Prasad, K.S. Sajwan, R. Naidu. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. Chapter 25. P. 483–506.
  7. Dabakhov M.V., Dabakhova E.V., Titova V.I. *Eco-toxicology and the problems of valuation*. N. Novgorod: Izd-vo VVAGS, 2005. 165 p. (in Russian)
  8. *Military toxicology, radiobiology and medical protection: Textbook for students and cadets of military medical universities* / Ed. S.A. Kutsenko. SPb.: Izd-vo Voenno-meditsinskoy akademii, 2003. 524 p. (in Russian)
  9. Kutsenko S.A. *Fundamentals of toxicology*. S-Pb.: 2002. 395 p. [http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem\\_common\\_u/toxicology.pdf](http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxicology.pdf) (in Russian)
  10. *Toxicological chemistry: textbook for high schools* / Ed. by T.V. Pletenevoy. M.: GEO-TAR-Media, 2005. 512 p. (in Russian)
  11. Avtysin A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strohkhova L.S. *Microelementoses of humans: etiology, classification, organopathology*. M.: Meditsina, 1991. 496 p. (in Russian)
  12. Lelevich V.V. *Biological Chemistry*. Grodno: GrGMU, 2009. 316 p. (in Russian)
  13. Ilin V.B. *Heavy metals in the soil-plant system*. Novosibirsk: Nauka. 1991. 151 p. (in Russian)
  14. Shafran L.M., Bolshoy D.V., Pyikhteeva E.G., Tretyakova E.M. The role of lysosomes in the mechanism of protection and damage of cells under the influence of heavy metals // *Sovremennyye problemy toksikologii*, 2004. № 3. P. 17–24. (in Russian)
  15. Ershov Yu.A., Pletneva T.V. Mechanisms of toxic action of inorganic compounds. M.: Meditsina, 1989. 272 p. (in Russian)
  16. Freitas A.J., Rocha J.B., Wolosker H., Souza D.O.G. Effects of Hg<sup>2+</sup> and CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> on Ca<sup>2+</sup> fluxes in rat brain micro-somes // *Brain Research*. 1996. V. 738. Is. 2. P. 257–264.
  17. Minibaeva F.V., Gordon L.X. Superoxide production and activity of extracellular peroxidase in plant tissues under stress // *Fiziologiya rasteniy*. 2003. T. 50. № 3. P. 459–464. (in Russian)
  18. Bingam F.T. Some issues of toxicity of metal ions / Eds. H. Zingelya, A. Zingel. M.: Mir, 1993. 368 p. (in Russian)
  19. Pirson R.Dzh. Hard and soft acids and bases // *Uspehi himii*. 1971. T. 40. Vyip. 7. P. 1259–1282. (in Russian)
  20. *General toxicology* / Ed. B.A. Kurlyandskiy i V.A. Filova. M.: Meditsina, 2002. 608 p. (in Russian)
  21. Seryeogin I.V., Kozhevnikova A.D. The physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants // *Fiziologiya rasteniy*. 2006. T. 53. № 2. P. 285–308. (in Russian)
  22. Torchinskiy Yu.M. Sulfhydryl and disulfide groups of proteins. M.: Nauka, 1971. 229 p. (in Russian)
  23. Isidorov V.A. Introduction to the chemical ecotoxicology: Textbook. SPb: Khimizdat, 1999. 144 p. (in Russian)
  24. Oksengendler G.I. *Poisons and antidotes*. M.: Nauka, 1982. 192 p. (in Russian)
  25. Petrov V.I., Revyako T.I. *Drugs and Poisons: Psychedelics and toxic substances, poisonous animals and plants*. M., 2002. 340 p. (in Russian)
  26. Skugoreva S.G., Ogorodnikova S.Yu., Golovko T.K., Ashihmina T.Ya. Phytotoxicity of organophosphorus compounds and mercury. Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 153 p. (in Russian)
  27. Lidsky T.I., Schneider J.S. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates // *Brain*. 2003. Vol. 126. P. 5–19.
  28. Tarasov A.V., Smirnova T.V. *Basics of toxicology: Textbook*. M.: Marshrut, 2006. 160 p. (in Russian)
  29. Zimina O.T. Influence of some heavy metals and trace elements on the biochemical processes in the human body // *Selected questions forensics*. Khabarovsk, 2001. № 4. P. 99–105. (in Russian)
  30. Kuznetsov A.E., Gradova N.B. *Scientific basis of environmental biotechnology: Textbook for students*. M.: Mir, 2006. 504 p. (in Russian)
  31. Bashmakov D.I., Lukatkin A.S. Ecological and physiological aspects of accumulation and distribution of heavy metals in higher plants / Ed. A.S. Lukatkina. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta. 2009. 236 p. (in Russian)
  32. Stohs S.J., Bagchi D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions // *Free Radical Biology & Medicine*, 1995. Vol. 18. № 2. P. 321–336.
  33. Schickler H., Caspi H. Response of Antioxidative Enzymes to Nickel and Cadmium Stress in Hyperaccumulator Plants of Genus *Alyssum* // *Physiol. Plant*. 1999. V. 105. P. 39–44.
  34. Sigaud-Kutner T.C.S., Leitao M.A.S., Okamoto O.K., Morse D., Colepicolo P. Heavy metal-induced oxidative stress in algae // *J. Phycol.*, 2003. V. 39. P. 1008–1018.
  35. Hossain M.A., Priyatida P., Teixeira da Silva J.A., Fujita M. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation // *Journal of Botany*. Volume 2012. Article ID 872875. 37 p.
  36. Winterbourn C.C. Superoxide-dependent formation of hydroxyl radicals in the presence of iron salts is a feasible source of hydroxyl radicals in vivo // *Biochem. J. Lett*. 1982. V. 205. P. 461–463.
  37. Asada K., Takahashi M. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis // In Kyle D.J., Osmond C., Arntzen C. J. [Eds.] *Photoinhibition*. Elsevier, New York. 1987. P. 227–297.
  38. Shi X., Dalal N.S. Evidence for a Fenton-type mechanism for the generation of OH radicals in the reduction of Cr (VI) in cellular media // *Arch. Biochem. Biophys*. 1990. V. 281. P. 90–95.
  39. Hassan H.M., Scandalios J.M. Superoxide dismutases in aerobic organisms / In *Stress Responses in Plants: Adaptation and Accumulation Mechanisms* / Eds. R.G. Alscher, J.R. Cumming Wiley-Liss, New York, 1990. P. 175–199.

УДК 543.554.6+544.632.4

## Мембранный потенциал твёрдоконтактного ионоселективного электрода (теория и численное моделирование)

© 2016. Г. Я. Кантор<sup>1,2</sup>, к.т.н., н.с., Р. В. Селезнев<sup>2</sup>, асс. каф. химии,  
Е. В. Кантор<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,

<sup>1</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

<sup>2</sup>Вятский государственный университет,  
610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

e-mail: grigory\_kantor@mail.ru, romanselezenev@gmail.com

Зависимость мембранного потенциала потенциометрического сенсора (ионоселективного электрода) от концентрации иона в растворе без мешающих ионов обычно описывается уравнением Нернста. В данной работе предлагается альтернативное описание механизма формирования потенциала твёрдоконтактного ионоселективного электрода на основе распределения Больцмана и точного аналитического решения уравнения самосогласованного электрического поля.

На основе предложенной модели возможен расчёт кинетики установления равновесного электродного потенциала при изменении концентрации потенциалопределяющего иона. Следующее из уравнения Нернста – Планка интегро-дифференциальное уравнение может быть решено методами численного интегрирования. Полученная расчётная зависимость электродного потенциала от времени хорошо согласуется с результатами, полученными в эксперименте.

Таким образом, зависимость электродного потенциала твёрдоконтактного ионоселективного электрода от концентрации потенциалопределяющего иона может быть описана уравнением, отличным от уравнения Нернста, но асимптотически приближающимся к нему по мере роста концентрации. Результаты расчёта кинетики электродного потенциала при изменении концентрации определяемого иона по предлагаемой модели хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** ионоселективный электрод, мембранный потенциал, самосогласованное электрическое поле.

## The membrane potential of solid-state ion-selective electrode (theory and numerical simulation)

G. Ya. Kantor<sup>1,2</sup>, R. V. Selezenev<sup>2</sup>, E. V. Kantor<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Institute of Biology

of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,

28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

<sup>2</sup>Vyatka State University,

36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,

e-mail: grigory\_kantor@mail.ru, romanselezenev@gmail.com

The dependence of membrane potential of potentiometric sensor (ion-selective electrode) on the ion concentration in solution without interfering ions is usually described by the Nernst equation. Our paper offers an alternative approach to theoretical model of the ion-selective membrane based on the hypothesis that electrical potential difference between the surfaces of the membrane is formed only due to diffusion of the charged particles into the body of partially permeable membrane.

The ions penetrating into the membrane create an electric field that prevents the further diffusion. The field strength increases, until it has an equilibrium distribution of the potential in which the diffusion stops. In a state of equilibrium distribution of the charge density in the force field is described by the Boltzmann distribution equation. Potential distribution, in turn, is determined by the distribution of the charge density. It follows that in the equilibrium state the self-consistent electric field is formed with intensity described by a differential equation of order 2 having the exact analytical solution:  $\varphi = \varphi_0 - 2 \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \cos \frac{ZFhC_1}{2RT}$  ( $R$  is the gas constant,  $T$  is the absolute temperature,  $Z$  is the charge number of ion,  $F$  is the Faraday number,  $h$  is the thickness of membrane,  $C_1$  is the smallest positive root of the equation

$$\frac{C_1^2}{\cos^2 \frac{ZFhC_1}{2RT}} = \frac{2RT}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \alpha M, \quad \varepsilon_0 \text{ is the electric constant, } \varepsilon \text{ is the dielectric permittivity of membrane material, } \alpha \text{ is an}$$

interphase distribution coefficient,  $M$  is molar concentration of the ion in mol/m<sup>3</sup> units,  $\Phi_0$  is an additive constant equal to sum of reference electrode potential and all contact potentials in measuring circuit).

On the basis of this theoretical model the kinetics of the electrode potential equilibrium when the concentration of the potential-determining ion changes may be calculated. The integral-differential equation which follows from the equation of Nernst – Planck may be solved by numerical integration. The resulting time dependence of the calculated electrode potential is in good agreement with the results obtained in the experiment.

Thus, the dependence of the electrode potential of solid-state ion-selective electrode on the ion concentration may be described by the equation different from the Nernst equation, but asymptotically approaching it at the growth of concentration. Calculation with the proposed model of the kinetics of the electrode potential when changing the ion concentration is in good agreement with the experimental data.

**Keywords:** ion-selective electrode, membrane potential, self-consistent electric field.

Потенциометрический метод измерения концентрации ионов при всех его известных недостатках обладает существенным преимуществом перед альтернативными методами – предельной простотой аппаратной реализации. Это позволяет создавать недорогие малогабаритные аналитические приборы, пригодные для работы в полевых условиях, что особенно важно при проведении экологических исследований.

В теории потенциометрии ионоселективный электрод традиционно считается гальваническим полуэлементом, в совокупности с электродом сравнения образующим гальванический элемент, ЭДС которого равна разности электродных потенциалов, описываемых уравнением Нернста [1, 2]:

$$E = E^0 + \frac{RT}{ZF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}},$$

где  $E$  – потенциал электрода,  $E^0$  – стандартный потенциал,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура,  $F$  – число Фарадея,  $Z$  – зарядовое число потенциалопределяющего иона,  $a_{ox}$  и  $a_{red}$  – активности окисленной и восстановленной форм соответственно.

Существуют различные конструкции ионоселективных электродов, в которых в качестве материала чувствительной мембраны используются кристаллическое вещество, стекло или полимерная плёнка с растворённым в её материале ионофором – веществом, проницаемым для ионов определённого типа. Электрод может иметь внутреннюю полость, заполненную электролитом определённого состава с погружённым в него электродом сравнения, или не иметь внутреннего электролита. Наиболее распространённые на практике серийные ионоселективные электроды являются твердоконтактными, в которых электрический контакт провода, предназна-

ченного для подключения к измерительному прибору, с внутренней поверхностью мембраны обеспечивается твёрдым токопроводящим полимером.

Если для стеклянных, кристаллических и мембранных электродов с внутренним электролитом имеются достаточно подробные теоретические описания, то твердоконтактные электроды в специальной литературе, как правило, вообще не рассматриваются, что явно говорит об отсутствии адекватных теоретических моделей их функционирования.

В данной статье предложена простая модель формирования мембранного потенциала твердоконтактного ионоселективного электрода, основанная на общеизвестных уравнениях классической электродинамики и статистической физики, хорошо описывающая всю совокупность эмпирических данных, относящихся к функционированию таких электродов.

## Теория

Классическое уравнение Нернста с высокой точностью описывает поведение твердоконтактных ионоселективных электродов в довольно широких пределах изменения концентрации определяемых ионов, однако имеет и известные ограничения – в частности, при концентрациях ниже 10<sup>-5</sup> моль/л реальные электродные характеристики обычно значительно отклоняются от нернстовских. В предлагаемой нами теоретической модели разность электрических потенциалов между поверхностями мембраны образуется в толще мембраны за счёт установления самосогласованного распределения электрического поля и объёмной плотности заряда ионов, для которых мембрана частично проницаема.

**Статика.** Проникающие в мембрану ионы создают электрическое поле, тормозящее

диффузионный процесс. Напряжённость поля возрастает до тех пор, пока не сформируется равновесное распределение потенциала, при котором диффузия полностью останавливается. В состоянии равновесия распределение плотности заряда в силовом поле описывается распределением Больцмана, которое в одномерном случае имеет вид:

$$\rho(x) = \rho_0 \cdot e^{-\frac{U(x)-U_0}{kT}},$$

где  $\rho$  – объёмная плотность заряда ионов;  $x$  – координата вдоль оси, перпендикулярной плоскости мембраны;  $U$  – потенциальная энергия иона в силовом поле;  $\rho_0$  – плотность заряда в точке, где  $U=U_0$ ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

Для определённости начало координат поместим на внешнюю поверхность мембраны (контактирующую с электролитом), положительное направление оси примем в сторону толщи мембраны. Электрический потенциал на внешней поверхности мембраны положим равным нулю. Тогда равновесное состояние мембраны (установившееся в течение некоторого времени после погружения электрода в раствор электролита) может быть описано следующей системой уравнений (1) – (3):

$$\rho(x) = \rho_0 \cdot \exp\left(-\frac{Ze \cdot \varphi(x)}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – объёмная плотность заряда иона на границе раздела мембраны с электролитом со стороны мембраны (она пропорциональна концентрации иона в растворе, но значительно меньше по величине),  $Z$  – зарядовое число иона,  $e$  – элементарный электрический заряд,  $\varphi$  – электрический потенциал в толще мембраны.

$$E(x) = -\frac{d\varphi}{dx}, \quad (2)$$

где  $E$  – проекция вектора напряжённости электрического поля на ось координат.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала мембраны. Это одномерная запись уравнения Максвелла  $\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}$  с учётом того, что  $E_x = E$ ,  $E_y = E_z = 0$ .

Система уравнений (1) – (3) сводится к одному нелинейному дифференциальному уравнению второго порядка относительно  $E = E(x)$

$$\frac{d^2 E}{dx^2} = \frac{Ze}{kT} \cdot E \cdot \frac{dE}{dx}, \quad (4)$$

имеющему общее решение

$$\frac{2u}{C_1} \text{arctg} \frac{E}{C_1} = C_2 + x \quad [3], \text{ или}$$

$$E(x) = C_1 \cdot \text{tg} \frac{(x+C_2) \cdot C_1}{2u}, \quad (5)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – произвольные константы,  $u = \frac{kT}{Ze} = 25,68$  мВ для однозарядного катиона при  $T = 298$  К.

Для нахождения частного решения уравнения (4) значения констант  $C_1$  и  $C_2$  в выражении (5) можно установить исходя из граничных условий в соответствии со следующими предположениями.

1) Плотность заряда иона на поверхности раздела фаз со стороны мембраны пропорциональна концентрации иона в растворе:

$$\rho(0) = \rho_0 = \alpha ZeMN_A, \quad (6)$$

где  $M$  – молярная концентрация иона в растворе электролита (при расчёте в системе СИ измеряется в моль/м<sup>3</sup>),  $N_A$  – число Авогадро,  $\alpha$  – безразмерный коэффициент межфазного распределения, равный отношению концентраций иона по разные стороны поверхности мембраны (значение  $\alpha$  определяется экспериментально для конкретного экземпляра электрода).

2) Напряжённость электрического поля на внутренней поверхности мембраны (т. е. на границе раздела мембраны и полимерного твёрдого контакта) равна нулю:

$$E(h) = 0, \quad (7)$$

где  $h$  – толщина мембраны. Это следует из непрерывности напряжённости электрического поля в пространстве и равенства её нулю в проводнике при отсутствии тока.

Из условия (7) сразу следует  $C_2 = -h$ , а из (3) и (6) – трансцендентное уравнение относительно параметра  $C_1$ , имеющего размерность напряжённости электрического поля:

$$\frac{\rho_0}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{C_1^2}{2u \cdot \cos^2 \frac{C_1 \cdot h}{2u}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) не имеет аналитического решения и для нахождения  $C_1$  при известном  $\rho_0$  требует использования какого-либо чис-

ленного метода. Из бесконечного множества корней уравнения (8) искомым является наименьший положительный.

Интегрирование выражения (5) даёт зависимость потенциала от координаты

$$\varphi(x) = 2u \cdot \ln \frac{\cos \frac{(x-h) \cdot C_1}{2u}}{\cos \frac{h \cdot C_1}{2u}},$$

значение которого при  $x = h$  является искомым величиной мембранного потенциала:

$$\varphi(h) = -2u \cdot \ln \cos \frac{h \cdot C_1}{2u}. \quad (9)$$

Рассчитанное по уравнению (9) значение мембранного потенциала отличается от измеряемого экспериментально на величину  $\varphi_0$ , которая является суммой электродного потенциала электрода сравнения и контактных напряжений на границах раздела разнородных материалов, составляющих измерительную электрическую цепь. Теоретическая оценка величины  $\varphi_0$  пока не представляется возможной, этот параметр может быть измерен путём сравнения расчётных и экспериментальных данных.

Таким образом, окончательное выражение для мембранного потенциала твёрдоконтактного ионоселективного электрода имеет вид:

$$\varphi = \varphi_0 - 2 \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \cos \frac{ZFhC_1}{2RT}, \quad (10)$$

где  $C_1$  является наименьшим положительным корнем уравнения

$$\frac{C_1^2}{\cos^2 \frac{ZFhC_1}{2RT}} = \frac{2RT}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \alpha M. \quad (11)$$

Уравнение (10) внешне значительно отличается от уравнения Нернста, однако при достаточно высоких концентрациях иона зависимость мембранного потенциала от логарифма концентрации весьма близка к линейной с тем же коэффициентом наклона электродной характеристики  $\frac{kT}{Ze} = \frac{RT}{ZF}$ , что

и в уравнении Нернста. На рисунке 1 показано семейство характеристик ионоселективных мембран различной толщины, рассчитанных в соответствии с выражением (9) при  $\alpha = 10^{-7}$ . Важным достоинством этого уравнения является естественное объяснение потери чувствительности электрода (т. е. значительное отклонение характеристики от нернстовской) при снижении концентрации иона ниже  $10^{-5}$  моль/л.

Другим экспериментально проверяемым следствием уравнения (9) является зависимость электродного потенциала от толщины мембраны (рис. 2). Эта зависимость также имеет квазилогарифмический характер, однако предельный коэффициент крутизны при этом ровно вдвое больше нернстовского – при увеличении толщины мембраны в  $e$  раз при фиксированной концентрации однозаряд-

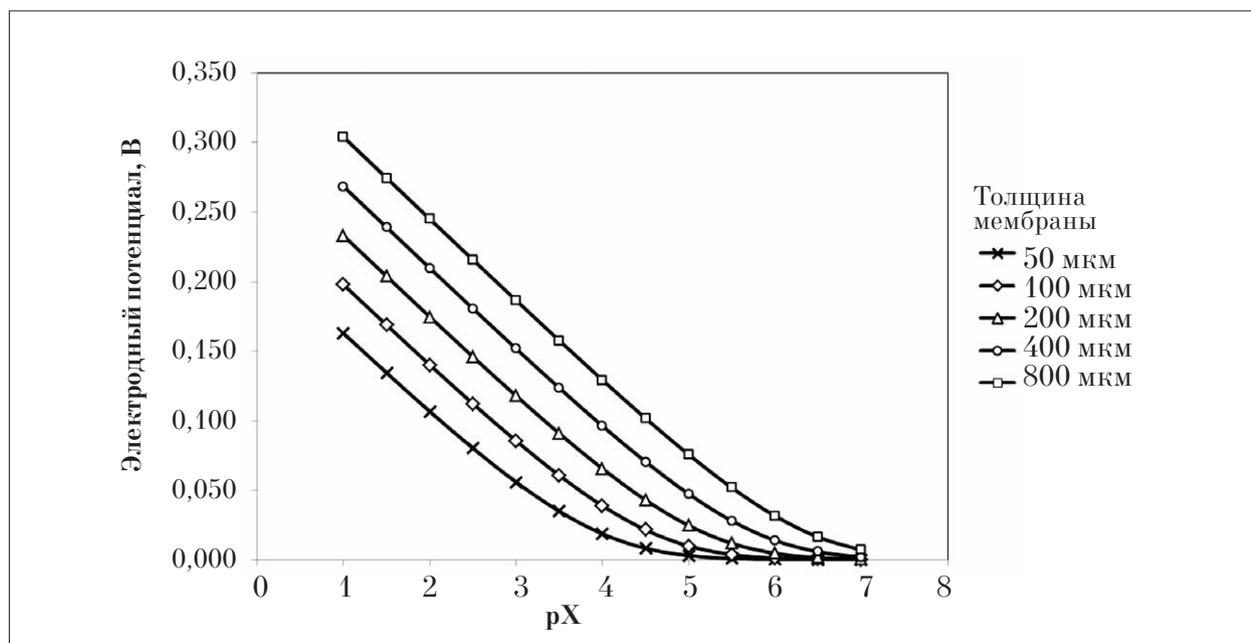


Рис. 1. Зависимость электродного потенциала от концентрации однозарядного катиона при различной толщине ионоселективной мембраны

ного иона (здесь  $e$  – основание натурального логарифма) потенциал увеличивается на

$$\frac{2RT}{F} = 51,36 \text{ мВ.}$$

**Кинетика.** При нарушении электростатического равновесия в толще мембраны (например, при изменении концентрации электролита) возникает диффузионный ионный ток, плотность которого описывается уравнением Нернста – Планка:

$$J(x) = -D \left( \frac{d\rho}{dx} - \frac{Ze}{kT} \rho E \right), \quad (12)$$

где  $J$  – плотность тока,  $D$  – коэффициент диффузии.

Уравнение (12) справедливо для стационарного распределения плотности заряда, когда плотность тока не зависит от времени. В общем случае, учитывая соотношение

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x}, \quad (13)$$

получим дифференциальное уравнение в частных производных:

$$\frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} - \frac{Ze}{kT} \frac{\partial}{\partial x} (\rho E) \right), \text{ или}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} - \frac{Ze}{kT} \left( E \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{\epsilon \epsilon_0} \rho^2 \right) \right]. \quad (14)$$

Относительно  $\rho(x, t)$  (14) является интегро-дифференциальным уравнением, не имеющим решения, выражающегося в аналитическом виде. Сравнение численного решения этого уравнения с результатами прямого измерения мембранного потенциала  $\varphi(h, t)$  позволяет экспериментально определить значение коэффициента диффузии  $D$ .

### Эксперимент

На рисунке 3 представлено сравнение результатов численного интегрирования уравнения (14) с данными измерения ЭДС электродной системы после скачкообразного изменения концентрации нитрата аммония в электрохимической ячейке от 194,2 мг/дм<sup>3</sup> (рХ=1,97) до 336,7 мг/л (рХ=1,73). Наилучшее соответствие результатов расчёта экспериментальным данным достигается при  $D = 2 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>/с,  $\varphi_0 = 157$  мВ.

Измерения проводились цифровым иономером «Эксперт-001» с ионоселективным электродом «ЭЛИС-121 NH<sub>4</sub>» и хлорсеребряным электродом сравнения «ЭВЛ-1М4». Использовалась ячейка с рабочим объёмом электролита 1 см<sup>3</sup>, специальная конструкция которой [4, 5] обеспечивает предотвращение попадания хлорида калия, вытекающего из электрода сравнения, на мембрану ионоселективного электрода. Быстрая смена электролита в ячейке производилась без вынимания электрода из раствора прокачкой 5 см<sup>3</sup> раствора из шприца объёмом 20 см<sup>3</sup>. Ре-

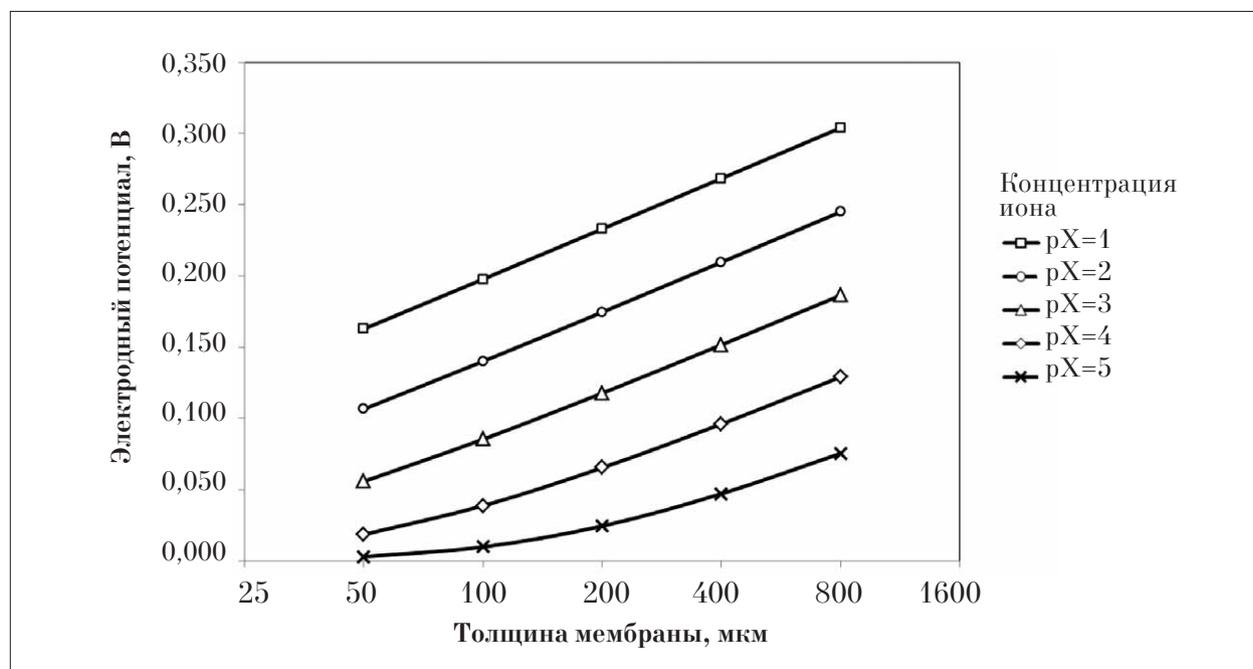


Рис. 2. Зависимость электродного потенциала от толщины мембраны при различной концентрации однозарядного катиона

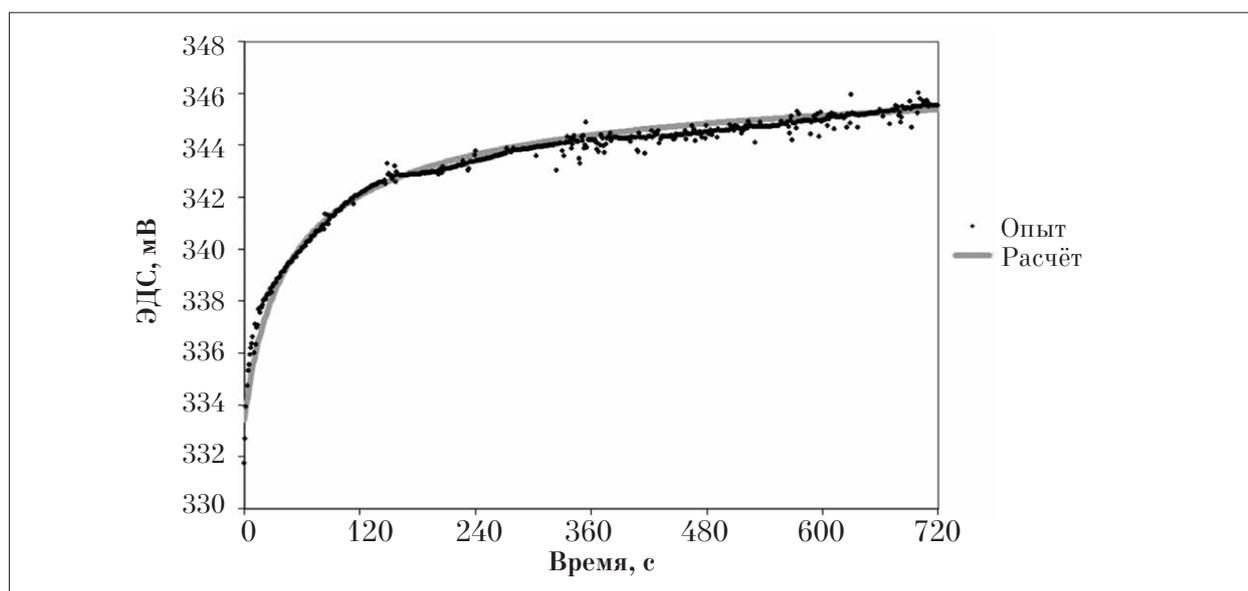


Рис. 3. Сравнение расчётной кинетической кривой электродного потенциала с данными эксперимента при скачкообразном изменении концентрации аммоний-иона от 194,2 мг/дм<sup>3</sup> до 336,7 мг/дм<sup>3</sup>

гистрация ЭДС осуществлялась компьютером при помощи программы, входящей в комплект иономера, с периодом 1 с.

Интегрирование уравнения (14) по времени выполнялось методом Эйлера с шагом 0,1 с, по координате – методом Рунге – Кутты с шагом 1 мкм.

Удовлетворительное согласие результатов расчёта с экспериментальными данными подтверждает выдвинутую в данной работе гипотезу о механизме формирования мембранного потенциала в твёрдоконтактных ионоселективных электродах самосогласованным электрическим полем.

### Выводы

1. Зависимость электродного потенциала твёрдоконтактного ионоселективного электрода от концентрации потенциалопределяющего иона может быть описана уравнением, отличным от уравнения Нернста, но асимптотически приближающимся к нему по мере роста концентрации.

2. Распределение объёмной плотности электрического заряда и потенциала в толще ионоселективной мембраны определяется самосогласованным электрическим полем, напряжённость которого описывается нелинейным дифференциальным уравнением 2-го порядка, имеющим точное аналитическое решение.

3. Теоретическая модель ионоселективной мембраны твёрдоконтактного потенциометрического электрода предсказывает квазилогарифмическую зависимость электродного потенциала от толщины мембраны, которая может быть проверена экспериментально.

### Литература

1. Морф В. Принципы работы ионоселективных электродов и мембранный транспорт. Пер. с англ. под ред. О.М. Петрухина. М.: Мир, 1985. 281 с.
2. Камман К. Работа с ионоселективными электродами. Пер. с нем. под ред. О. М. Петрухина. М.: Мир, 1980. 283 с.
3. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Физматлит, 2001. 576 с.
4. Селезнев Р.В., Кантор Г.Я., Рогозин И.В. Прибор для автоматического потенциометрического анализа воды. Конструкция, принцип работы и программно-методическое обеспечение // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 94–98.
5. Селезнев Р.В., Кантор Г.Я. Новый методический подход в потенциометрическом анализе природной воды // Бутлеровские сообщения. 2014. № 9. С. 113–116.

### References

1. Morf V. Principles of ion-selective electrodes and membrane transport. Per. s angl. pod red. O.M. Petrukhina. M.: Mir, 1985. 281 p. (in Russian)
2. Kamman K. Working with ion-selective electrodes. Per. s nem. pod red. O. M. Petrukhina. M.: Mir, 1980. 283 p. (in Russian)
3. Zaytsev V.F., Polyanin A.D. Handbook of ordinary differential equations. M.: Fizmatlit, 2001. 576 p. (in Russian)
4. Selezenev R.V., Kantor G.Ya., Rogozin I.V. The device for the automatic potentiometer-metric analysis of water. Design, working principle, software and methodological support // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. № 2. P. 94–98. (in Russian)
5. Selezenev R.V., Kantor G.Ya. The new methodical approach in potentiometric analysis of natural water // Butlerovskie soobshcheniya. 2014. № 9. P. 113–116. (in Russian)

УДК 631.453:581.52

## Регрессионные модели для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растения северного Сахалина

© 2016. Д. Н. Липатов, к.б.н., ст. преп., А. В. Елисева, аспирант,  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
факультет почвоведения, кафедра радиоэкологии и экотоксикологии,  
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,  
e-mail: dlip@soil.msu.ru

На основе результатов полевых исследований, проведённых на пяти участках на нефтяных месторождениях, построены уравнения регрессии, описывающие воздействие нефтяного загрязнения почв на общее проективное покрытие (ОПП) растительности естественных и посттехногенных фитоценозов. Согласно оценкам, полученным по экспоненциальным моделям, начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=50–75%) происходит при содержании суммы углеводородов нефти (УВН) 3000–10000 мг/кг, снижение ОПП до 5–10% – при 19500–37000 мг/кг, гибель фитоценозов (ОПП<1%) – при 42000–75000 мг/кг. Для восстановления растительного покрова в техногенных экосистемах северного Сахалина необходимо уменьшать содержание УВН в почве до более низких уровней, чем те, при которых развивалась дигрессия исходных естественных фитоценозов. Построены уравнения логит-регрессии для данных присутствия/отсутствия отдельных видов растений в условиях нефтяного загрязнения почв. На основе логит-регрессионных моделей получены значения  $LC_{50}$  и  $LC_{95}$  УВН в почвах для отдельных видов растений. При разливе нефти в естественных фитоценозах значения  $LC_{50}$ , рассчитанные для деревьев, увеличиваются в ряду: лиственница даурская < береза Миддендорфа < ольха пушистая. Выявлено, что кустарничковые растения (багульник, брусника) менее устойчивы к нефтяному загрязнению почв, чем осоковые и рудеральные виды. Значения  $LC_{50}$  на техногенно трансформированных почвах снижены в 5–8 раз по сравнению с ненарушенными почвами.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение, фитотоксичность, техногенные ландшафты, экологический мониторинг.

## Regression models for assessment of the impact of soil contamination with oil on plants of northern Sakhalin

D. N. Lipatov, A. V. Eliseeva,  
Radioecology and Ecotoxicology Department, Soil Science Faculty,  
Lomonosov Moscow State University,  
b. 12, 1 Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991,  
e-mail: dlip@soil.msu.ru

Contamination of soils and the status of plant cover for five plots on oil fields in Nogliki district of Sakhalin Island were investigated. The equations of exponential regression describing the impact of total petroleum hydrocarbons (TPH) in soils on the projective plant cover (PPC) of natural and post-technogenic vegetation were calculated. The assessments based on exponential models demonstrate that the initial digression of natural vegetation (to PPC=50–75%) be the result of TPH levels 3000–10000 mg/kg, reduce to PPC=5–10 % – of TPH levels 19500–37000 mg/kg, the loss of vegetation (PPC<1%) – of TPH levels 42000–75000 mg/kg. The self-overgrowing of plant cover (PPC=50%) takes place by lowering of rest concentration TPH in technogenic transformed podzolic soils under 1350–2900 mg/kg, fragmentary self-overgrowing of plant cover (PPC=5%) – under 10000–20000 mg/kg. The equations of logit regression describing the field presence/absence data for individual species of plants on oil spills were calculated. The  $LC_{50}$  and  $LC_{95}$  values of TPH in soils for species of plants based on logit-regression models were received. According to increasing  $LC_{50}$  values on oil spills, the trees formed the following series: *Larix dahurica* < *Betula middendorffii* < *Alnus hirsute*. The  $LC_{50}$  values of TPH for subshrubs (Wild rosemary, Red bilberry) were lower than that for sedges and ruderal plants. The  $LC_{50}$  values of TPH in technogenic transformed soils were lower than that in natural soils by a factor of 5–8.

**Keywords:** oil contamination, phytotoxicity, technogenic landscapes, environmental monitoring.

На нефтедобывающих территориях вследствие загрязнения почв и воздействия других техногенных факторов происходят структурные изменения во всех компонентах биогеоценозов. Нефтепродукты, попавшие в почву, подавляют рост и развитие растений, приводят к уменьшению их продуктивности, дигрессии и гибели фитоценозов [1, 2]. Нефтяное загрязнение оказывает длительное отрицательное воздействие на морфологические признаки и уровень генетического разнообразия популяций растений [3]. Кроме непосредственно токсического действия нефтепродуктов на растения нефтяное загрязнение приводит к трансформации водного и питательного режимов почвы, перестройке почвенного поглощающего комплекса, нарушению процессов деструкции органических веществ в почве [4, 5], что усиливает дигрессию фитоценозов.

Оценка воздействия нефтяного загрязнения на растительность необходима при установлении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почве, а также при разработке регламентов биологической рекультивации и фиторемедиации нефтезагрязнённых земель. Вместе с тем остаётся не достаточно разработанной методология количественного определения этого воздействия на растительный покров. Эта проблема характерна не только для нефтезагрязнённых территорий, но и для экологии других импактных регионов [6]. Эффективным подходом для получения количественных оценок техногенного воздействия являются полевые эксперименты в зонах загрязнения. При этом контрастность ореолов загрязнения способна выступать экспериментальным материалом, с помощью которого на основе регрессионного анализа можно оценивать изменения состояния экосистем, в частности, фитотоксичность загрязнённых почв.

Цель работы – построить и проанализировать регрессионные модели для оценки воз-

действия нефтяного загрязнения почв на растительный покров в техноэкосистемах северного Сахалина.

### Объекты и методы

Исследования проводились в Ногликском районе о. Сахалин на территории объектов нефтедобычи, выведенных из эксплуатации (табл. 1). На каждом участке площадью 5000 м<sup>2</sup> заложено по 16 учётных площадок, в которых оценивался растительный покров и проводился почвенный пробоотбор.

Обследованные участки относятся преимущественно к рудеральным местообитаниям. Древесный ярус представлен малым числом экземпляров в угнетённом состоянии, отмечены следующие виды: ольха пушистая (*Alnus hirsute*), лиственница даурская (*Larix dahurica*), береза Миддендорфа (*Betula middendorffii*), кедровый стланик (*Pinus pumila*), ива козья (*Salix caprea*). На слабонарушенных участках в кустарничковом ярусе распространены куртины брусники (*Vaccinium praestans*), вороники (*Empetrum sibiricum*), багульника (*Ledum palustre*). Во фрагментарном травяном ярусе наибольшей численностью характеризуются мелкие осоки, ситники (*Juncus bufonius*, *J. filiformis*), пушица (*Eriophorum vaginatum*), низовые злаки (*Festuca ovina*, *Elymus sibiricus*, *Poa palustris*). Осоки северо-восточного геоботанического района о. Сахалин представлены несколькими видами: осока дернистая (*Carex cespitosa*), осока вздутая (*C. rostrata*), осока Миддендорфа (*C. middendorffii*), осока Гмелина (*C. gmelinii*) [7]. На площадках отмечены рудеральные виды: иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), дерен канадский (*Chamaeperichlymenum canadense*).

Таблица 1

Характеристика контрольных участков, почвы и растительного покрова

№	Участок	Тип почвы	Растительная ассоциация
1	Разлив нефти из нефтеловушки	Аллювиальная лугово-болотная	Злаково-осоковая
2	Разлив нефти вблизи внутрипромыслового нефтепровода	Бурая лесная глееватая	Кустарничково-злаковая
3	Площадка демонтированного нефтехранилища	Техно-подзол супесчаный	Осоково-злаковая
4	Выведенные из эксплуатации буровые площадки	Техно-подзол песчаный	Хвощово-злаковая
5	Разлив нефти вблизи межпромыслового нефтепровода	Техно-подзол иллювиально-железистый	Кустарничково-осоковая

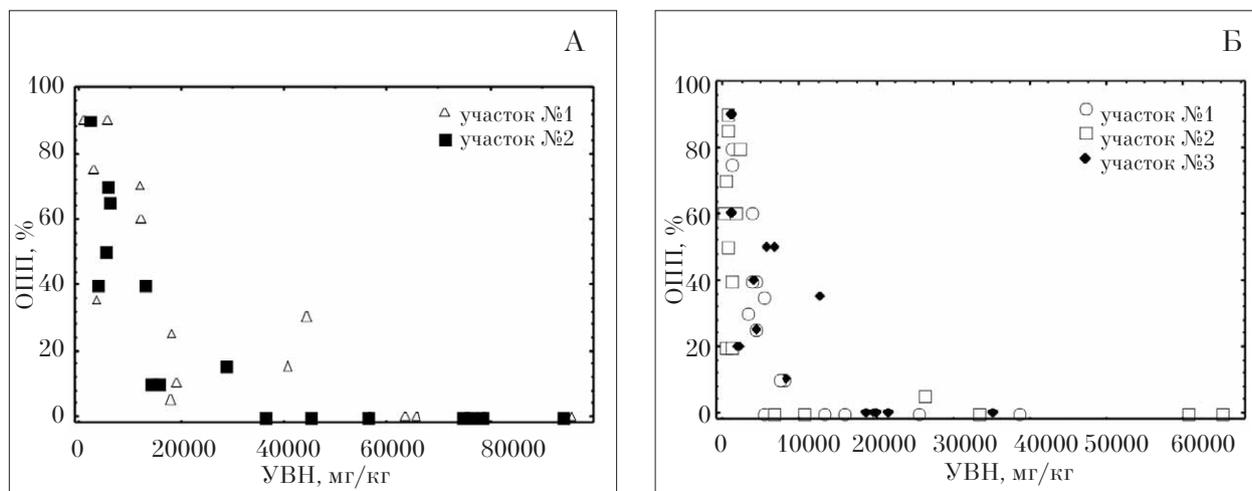


Рис. 1. Варьирование ОПП растительности при различных уровнях загрязнения почв УВН в условиях деградации фитоценозов (А) и самозарастания промышленных площадок (Б)

На основе описаний растительности получены показатели на количественной шкале: общее проективное покрытие (ОПП) в процентах, а также на альтернативной шкале: присутствие/отсутствие отдельных видов растений на учётных площадках.

Почвенные образцы отбирали из слоя 0–10 см. Определение содержания суммы углеводородов нефти (УВН) в пробах почв проводили методом инфракрасной спектрофотометрии в соответствии с ПНДФ 16.1:2.2.22–98.

Для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растительность в работе использованы модели экспоненциальной регрессии и логит-регрессии. При проведении регрессионного анализа в качестве независимого аргумента рассматривалось содержание суммы УВН в почве, в качестве переменных отклика выступали показатели растительного покрова.

Уравнение экспоненциальной регрессии выражалось в следующем виде:  $y = C \cdot e^{b \cdot x}$ , где  $y$  – переменная отклика,  $x$  – независимый аргумент,  $C$  и  $b$  – коэффициенты регрессии. Построение уравнений экспоненциальной регрессии проводилось методом наименьших квадратов с оптимизацией решения алгоритмом Левенберга-Марквардта в модуле «Нелинейное оценивание» программы Statistica. Качество полученных регрессионных моделей оценивали с использованием коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

Логит-регрессия применима для бинарных переменных, в условиях нашей задачи: 0 соответствовал отсутствию растений, 1 – их присутствию. Уравнение логит-регрессии при одной независимой переменной имеет следующее выражение:  $\ln(p/(1-p)) = b_0 + b_1 \cdot x$ , где  $p$  –

вероятность переменной отклика,  $x$  – независимый аргумент,  $b_0$  – свободное слагаемое,  $b_1$  – коэффициент регрессии. Для получения логит-регрессионных уравнений использован метод максимального правдоподобия в модуле «Обобщенные линейные/нелинейные модели» программы Statistica. С целью оценки качества логит-регрессионных моделей вычислялась доля корректной классификации по апостериорным и исходным значениям.

### Результаты и обсуждение

Пространственное распределение содержания суммы УВН в почвах исследованных участков характеризуется значительной вариабельностью, максимальные уровни загрязнения отмечаются на нефтяных разливах, достигая значений 94250–96000 мг/кг. При этом среди пятен с высоким уровнем загрязнения отмечены точки с допустимым для промышленных территорий содержанием УВН.

Полученные оценки ОПП растительности на учётных площадках в значительной степени сопряжены с уровнем нефтяного загрязнения почв, но эта взаимосвязь имеет нелинейный характер (рис. 1). В условиях дигрессии естественных фитоценозов по разливам нефти на участках № 1 и № 2 резкое снижение ОПП наблюдается в более широком диапазоне уровней содержания УВН в почве (рис. 1, А), чем на участках № 3–5 (рис. 1, Б), на которых растительный покров формировался в ходе самозарастания старых промышленных площадок. Это продиктовано одновременным воздействием других техногенных факторов: сведения растительности при строительстве и эксплуатации площадок, механических

нарушений и переуплотнения поверхности почвы, низкого плодородия техногенно нарушенных подзолов. Разброс значений ОПП при сходных уровнях нефтяного загрязнения обусловлен также различной структурой фитоценозов и популяционной гетерогенностью.

При аппроксимации выявленных нелинейных зависимостей наилучшие результаты получены при использовании уравнений экспоненциальной регрессии, которые в условиях задачи имеют вид:  $ОПП(\%) = C \cdot \exp(b \cdot УВН \text{ (мг/кг)})$ . Коэффициенты регрессии, полученные в подобранных уравнениях, значимы (табл. 2). Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) показывают, что влияние содержания УВН в почвах определяет 54–87% варьирования ОПП растительности на исследованных участках. Экспоненциальный характер зависимости «доза-эффект» характерен для многих токсикологических эффектов.

В экотоксикологических исследованиях распространённым видом зависимости «доза-эффект» являются S-образные кривые [8]. В нашей работе проводилась аппроксимация экспериментальных данных функциями кривых Перла-Рида, однако оценки параме-

тров во всех полученных уравнениях не были значимы.

Кривые «доза-эффект» при оценке воздействия нефтяного загрязнения почв на организмы, популяции, экосистемы исследованы в недостаточной степени. Характер этих кривых определяется многими факторами: составом нефти и различной токсичностью её отдельных компонентов, структурой популяций и экосистем, подверженных воздействию, ландшафтными и почвенными условиями. При изучении воздействия нефтяного загрязнения почв на растительный покров болотных ландшафтов Среднего Приобья отмечались линейные зависимости между ОПП и содержанием УВН [9]. При интерпретации результатов следует учитывать, что в условиях техногенных ландшафтов при воздействии на растения нескольких стрессовых факторов сложно получить отдельную зависимость для нефтяного загрязнения почв. Поэтому верхний порог в области низких значений УВН для S-образных кривых «доза-эффект» будет скрыт вследствие влияния других техногенных факторов, при этом средняя и нижняя часть этих кривых сходны с экспоненциальной. В условиях полевых экспериментов сглаживание вер-

Таблица 2

Параметры уравнений экспоненциальной регрессии для ОПП (%) в зависимости от уровня содержания УВН (мг/кг) в почвах

№ участка	Диапазон содержания УВН в почве, мг/кг	Параметры уравнений экспоненциальной регрессии		R <sup>2</sup>
		C	b	
1	1300–96000	88,8***	-0,00006***	0,73
2	2300–94250	101,9***	-0,00011***	0,87
3	1060–38690	106,1***	-0,00028***	0,87
4	100–65000	65,4***	-0,00020*	0,62
5	1200–35300	62,1***	-0,00011**	0,54

Примечание. Уровень значимости параметров и коэффициентов регрессии: \*  $\alpha=0,10$ ; \*\*  $\alpha=0,05$ ; \*\*\*  $\alpha=0,01$ .

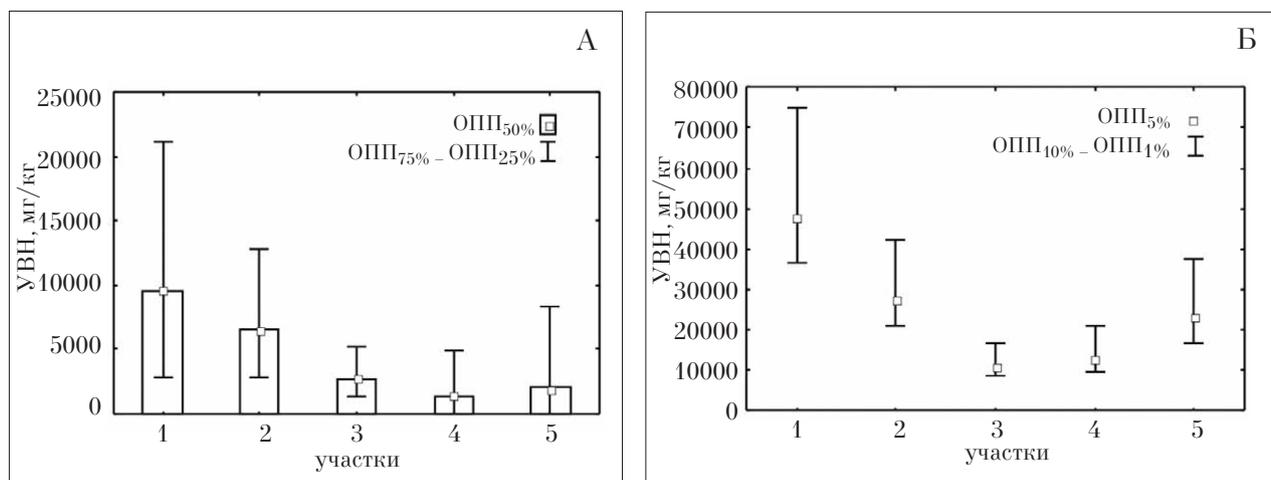


Рис. 2. Рассчитанные по моделям экспоненциальной регрессии уровни содержания УВН в исследованных почвах при значениях ОПП растительности: 75% – 50% – 25% (А), 10% – 5% – 1% (Б)

ней части S-образных кривых «доза-эффект» связано с недостаточным количеством точек в области низких нагрузок [8].

На основе экспоненциальных регрессионных моделей рассчитаны уровни содержания УВН, соответствующие оценкам ОПП растительности 75, 50, 25 (рис. 2, А) и 10, 5, 1% (рис. 2, Б). Они позволяют проследить выраженность токсического эффекта при увеличении техногенной нагрузки, а также оценить контрольные уровни воздействия на исследованные фитоценозы. В качестве предельных уровней загрязнения целесообразно рассматривать значения содержания УВН, соответствующие ОПП=50%, а в некоторых случаях ОПП=25% и ОПП=10%. При нормировании воздействия на уникальные фитоценозы необходим более строгий выбор контрольного уровня, рассчитанный для ОПП=75%.

Начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=75–50%) отмечается при уровнях загрязнения почв УВН 3000–10000 мг/кг, резкое десятикратное снижение ОПП происходит при 19500–37000 мг/кг. Угнетение кустарничково-злаковой растительной ассоциации на бурой лесной почве (участок № 2) проявляется при меньших уровнях загрязнения, чем злаково-осоковой на аллювиальной лугово-болотной почве (участок № 1). Гибель естественных фитоценозов (ОПП<1%) зафиксирована при уровнях загрязнения УВН – 42000–75000 мг/кг. Устойчивость естественных фитоценозов при высоких уровнях загрязнения связана с разнообразием видового состава и широким спектром механизмов компенсации неблагоприятных воздействий.

На выведенных из эксплуатации промышленных площадках для самовосстановления растительности до ОПП=50% необходимо снижение остаточного содержания УВН в почве до 1350–2900 мг/кг. При этом ОПП=10% может быть сформировано при значительно более высоких уровнях содержания УВН, равных 8400–16600 мг/кг. По-видимому, нефтяное загрязнение почв промышленных площадок не всегда является лимитирующим фактором восстановления растительного покрова. В большей степени на состояние почв техногенных ландшафтов негативно влияют низкая мощность плодородного слоя и деградиционные процессы. Так, по участку № 4 восстановление растительного покрова на техно-подзоле осложняется поверхностными механическими нарушениями почвы, что усиливает чувствительность растений к нефтяному загрязнению.

На начальных стадиях формирования

посттехногенных фитоценозов оценки ОПП не превышают 1–5%, но даже фрагментарное самовосстановление растительного покрова может выступать в качестве дополнительного фактора, способствующего ремедиации почв. Важнейшим условием самозарастания поверхности техногенных почв является восстановление плодородного слоя. Согласно проведенным по регрессионным моделям расчётам, фрагментарное восстановление растительного покрова (ОПП=5%) на поверхности техногенно трансформированных подзолов возможно при остаточном содержании УВН 10000–22000 мг/кг. Для восстановления растительного покрова в посттехногенный период необходимо обеспечивать более низкие уровни содержания нефти в почве, чем те, при которых развивалась дигрессия исходных естественных фитоценозов.

При анализе полученных данных присутствия/отсутствия растений на альтернативной шкале использована процедура логит-регрессии [10]. Уравнения логит-регрессии в условиях задачи имели вид:  $\ln(p/(1-p)) = b_0 + b_1 \cdot \text{УВН}$  (мг/кг). Регрессионные модели, построенные по данным, полученным на участках 1–2, характеризуют условия деградации естественных фитоценозов при разливе нефти. Они отличаются по своим параметрам от регрессионных моделей, построенных по участкам 3–5 для условий самовосстановления растительного покрова на техногенно нарушенных почвах. Не все полученные параметры уравнений логит-регрессии для отдельных видов растений значимы (табл. 3), процент корректной классификации составил 67–85%. Оценки вероятности присутствия растительности, получаемые в логит-регрессионных моделях, могут использоваться для определения уровней токсичности. В нашей работе на основе подобранных уравнений логит-регрессии рассчитаны оценки  $LC_{50}$  и  $LC_{95}$  – концентрации суммы УВН в почве (мг/кг), вызывающей 50 и 95% фитотоксичность для исследованных видов растений (табл. 3).

Модельные оценки  $LC_{50}$  УВН в почве для древесных растений составили: 12930–20500 мг/кг – в естественных фитоценозах, 2660–3710 мг/кг – при самозарастании промышленных площадок. Низкая устойчивость к нефтяному загрязнению почв установлена для лиственницы даурской, оценки  $LC_{50}$  и  $LC_{95}$  для неё ниже, чем для ольхи пушистой и берёзы Миддендорфа. Величина  $LC_{95}$  для лиственницы лишь в 1,5–1,8 раза выше, чем  $LC_{50}$ , что указывает на узкий диапазон значений уровня не-

Таблица 3

Параметры уравнений логит-регрессии и рассчитанные уровни токсичности УВН для отдельных видов растений

Вид растения	Параметры уравнений логит-регрессии		Уровни фитотоксичности УВН в почве (мг/кг)	
	$b_0$	$b_1$	LC <sub>50</sub>	LC <sub>95</sub>
Деградация естественных фитоценозов при разливе нефти				
Ольха пушистая	-1,64*	0,00008*	20500	57305
Берёза Миддендорфа	-1,50	0,00009*	16667	49383
Лиственница даурская	-3,75*	0,00029	12930	23084
Осока дернистая	-2,70**	0,00009**	30000	62716
Багульник	-2,43	0,00024*	10125	22393
Брусника	-1,05	0,00016*	6562	24965
Самовосстановление фитоценозов на техногенно нарушенных почвах				
Ольха пушистая	-1,57*	0,00059*	2660	7652
Берёза Миддендорфа	-1,52	0,00041*	3710	10889
Лиственница даурская	-6,03*	0,00198*	3045	4533
Осока дернистая	-1,47*	0,00022**	6682	20066
Хвощ полевой	-0,63	0,00006*	10500	59574
Иван-чай	-1,77	0,00060*	2950	7857

Примечание. Уровень значимости параметров и коэффициентов регрессии: \*  $\alpha=0,10$ ; \*\*  $\alpha=0,05$ ; \*\*\*  $\alpha=0,01$ .

фтяного загрязнения, при котором происходит резкое подавление этого древесного растения.

Для травянистых растений модельные значения LC<sub>50</sub> выше, чем для кустарничковых. Так, сравнение LC<sub>50</sub> показывает, что осока дернистая является в 4,5 раза более устойчивой к нефтяному загрязнению почв, чем брусника. В условиях самозарастания промышленных площадок по техногенно трансформированным подзолам наиболее высокие значения LC<sub>50</sub> и LC<sub>95</sub> установлены для хвоща полевого, являющегося типичным представителем рудеральной растительности. Оценки LC<sub>50</sub>, полученные по регрессионным моделям, сопоставимы с результатами специальных лабораторных и микрополевых исследований [1], в которых отмечалось 2-кратное снижение физиолого-биологических параметров растений, в частности, митотической активности клеток, при уровне загрязнения почв нефтью 2–4 % (20000–40000 мг/кг).

Предложенный комплекс модельных расчётов даёт количественное обоснование для оценки допустимого остаточного содержания нефти в почвах различных ландшафтов. Логит-регрессионные модели могут применяться для определения уровней токсического воздействия УВН на отдельные виды растений.

### Выводы

Снижение ОПП растительности при нарастании уровня нефтяного загрязнения почв

адекватно описывается уравнениями экспоненциальной регрессии. Пороговые уровни в области низких значений нефтяного загрязнения не зафиксированы.

Согласно оценкам, полученным по экспоненциальным моделям, начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=75–50%) происходит при уровнях загрязнения почв УВН 3000–10000 мг/кг, резкое десятикратное снижение ОПП – при 19500–37000 мг/кг, гибель естественных фитоценозов (ОПП<1%) – при 42000–75000 мг/кг.

Для восстановления растительного покрова в посттехногенный период необходимо обеспечивать низкие уровни остаточного содержания нефти в почве. На техногенно нарушенных подзолах при уровне загрязнения УВН выше 22000 мг/кг растительный покров не формируется, при 10000–22000 мг/кг возможно фрагментарное самозарастание с ОПП=5%, самовосстановление растительности до ОПП=50% происходит при снижении остаточного содержания УВН в почве до 1350–2900 мг/кг.

Построенные уравнения логит-регрессии статистически достоверно описывают полевые данные присутствия/отсутствия отдельных видов растений при различных уровнях нефтяного загрязнения почв. Полученные в логит-регрессионных моделях, оценки вероятности присутствия растений, можно использовать для определения уровней фитотоксичности, в частности LC<sub>50</sub>.

Значения  $LC_{50}$  УВН в почве, рассчитанные по логит-регрессионным моделям, для древесных и кустарничковых растений ниже, чем для осоковых и рудеральных видов. В условиях техногенной трансформации почв значения  $LC_{50}$  и  $LC_{95}$  для растений снижаются в 5–8 раз.

### Литература

1. Киреева Н.А., Новосёлова Е.И., Григориади А.С. Влияние загрязнения почв нефтью на физиологические показатели растений и ризосферную микробиоту // *Агрохимия*. 2009. № 7. С. 71–80.
2. Казанцева М.Н. Влияние нефтяного загрязнения на таёжные фитоценозы Среднего Приобья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 1994. 26 с.
3. Суслонов А.В. Влияние нефтяного загрязнения почв на морфологические и генетические характеристики растений и на формирование растительного покрова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа: ИБ УНЦ РАН. 2010. 19 с.
4. Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Фитоиндикация влажности и обеспеченности элементами питания (трофности) нефтезагрязнённых почв Среднего Приобья // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2008. № 1. С. 10–13.
5. Трофимов С.Л., Розанова М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // *Деградация и охрана почв*. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 359–373.
6. Воробейчик Е.Л. Экология импактных регионов: перспективы фундаментальных исследований // *Материалы IV Всероссийского популяционного семинара*. 2004. Нижний Тагил. С. 36–45.
7. Баркалов В. Ю., Таран А. А. Список видов сосудистых растений острова Сахалин // *Растительный и животный мир острова Сахалин. Часть 1*. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 39–66.
8. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 2004. 50 с.
9. Соловьева З.Е., Трофимов С.Я. Особенности трансформации почвенно-растительного покрова при загрязнении нефтью и минерализованными водами

в Среднем Приобье // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2008. № 1. С. 3–9.

10. Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Д.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН. 1999. 306 с.

### References

1. Kireyeva N.A., Novoselova E.I., Grigoriadi A.S. The effect of oil contamination in soil on the physiological parameters of plants and rhizospheric microbiota // *Agrochimia*. 2009. No. 7. P. 71–80 (in Russian).
2. Kazantseva M.N. The impact of oil pollution on the coenoses of the taiga in the Middle Ob region. Avtoref. diss. ... kand. biol.nauk. Ekaterinburg: IERiZh, UrO RAN, 1994. 26 p. (in Russian).
3. Suslonov A.V. The effect of oil pollution in soil on the morphological and genetic characteristics of plants and on the formation of vegetation. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Ufa. IBUNC RAN. 2010. 19 p. (in Russian).
4. Avetov N.A., Shishkonakova E.A. Phytoindication of the water status and nutrient supply of oil-polluted soils in the middle reaches of the Ob' River // *Vestnik Mosk.Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*. 2008. V. 63. № 1. P. 8–11. (in Russian).
5. Trofimov S. Ya., Rozanova M.S. The change of soil properties under the influence of oil pollution // *Degradatsia i okhrana pochv*. M.: Izd-vo MGU, 2002. P. 359–373. (in Russian)
6. Vorobeichik E.L. The ecology of impact regions: perspectives for basic research // *Materiali IVvserossiyskogo populatsinnogo seminaru*. Nizhniy Tagil, 2004. P. 36–45 (in Russian).
7. Barkalov V.Y., Taran A.A. Species list of vascular plants of Sakhalin Island // *Rastitelnyy i zhivotnyy mir ostrova Sahalin. Chast 1*. Dalnauka Press. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 39–66 (in Russian).
8. Vorobeichik E.L. Ecological rating of toxic loads on terrestrial ecosystems. Avtoref. diss. ... kand. biol.nauk. Ekaterinburg: IERiZh, UrO RAN, 2004. 50 p. (in Russian).
9. Solov'eva Z. E., Trofimov S. Ya. Transformation of soil and plant cover contaminated with oil and salt water in the middle Ob' river basin // *Vestnik Mosk.Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*. 2008. V. 63. № 1. P. 3–9. (in Russian).
10. Jongman R.H.G., Ter Braak C.J.F., Van Tongeren O.F.R. Data analysis in community and landscape ecology. M.: RASHN, 1999. 306 p. (in Russian).

**Сезонная миграция загрязняющих веществ  
в поверхностных водах в результате деятельности  
горнодобывающей компании в Кыргызстане**

© 2016. А. М. Абдувалиев<sup>1</sup>, аспирант, Б. М. Худайбергенова<sup>2</sup>, д.б.н., в.н.с.,  
<sup>1</sup>Международный институт гор УНПК «МУК»,  
720001, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, 255,  
<sup>2</sup>Институт биотехнологии НАН КР,  
720071, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, 265,  
e-mail: aibek\_abduvaliev@kumtor.com

Под влиянием антропогенных факторов изменяется химический состав природных вод, что может привести к отрицательным последствиям не только в водных, но и в наземных экосистемах. Река Нарын – это главная водная артерия Кыргызской Республики. Проведён экологический мониторинг поверхностных вод бассейна реки Нарын для изучения выявления антропогенного влияния (деятельности горнодобывающей компании «Кумтор») на состояние и качество водных артерий изучаемого региона. Химический состав проб воды определялся с помощью различных методов (атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES), метод титриметрии, атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой масс-спектрометрии (ICP-MS)).

Определено содержание четырёх групп химических соединений в поверхностных водах р. Нарын: азотная группа, главные ионы, некоторые тяжёлые металлы и неметаллы с концентрацией равной целым числам и цианиды с низкой концентрацией. Представленные данные свидетельствуют о влиянии действия горнорудной компании на водный приток правого рукава р. Нарын по отдельным показателям. Наблюдаются сезонные колебания концентраций некоторых элементов. Значительное повышение наблюдается в летний период, во время активной работы компании по добыче золота. Повышенные концентрации свинца на изученных участках, вероятно, обусловлены влиянием транспортных средств, проезжающих вблизи верховья реки Нарын. Летнее повышение концентрации алюминия, железа, свинца может быть обусловлено активным сбросом стоков с предприятия «Кумтор», а также таянием ледников, из которых берут начало притоки р. Нарын. В то же время многие показатели свидетельствуют об отсутствии накопления загрязняющих веществ в поверхностных водах. Вероятно, это обусловлено мощными скоростными потоками воды в р. Нарын и современными технологиями очистки отработанных сточных вод предприятия «Кумтор».

**Ключевые слова:** горнодобывающее предприятие, химические показатели, поверхностные воды, река Нарын, сезонные изменения.

**The seasonal migration of pollutants in surface waters as a result  
of the mining company's activities in Kyrgyzstan**

A. M. Abduvaliyev<sup>1</sup>, B. M. Khudaybergenova<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>International mountains institute of Education-science-productive complex  
«International university of Kyrgyzstan» (ESPC «IUK»),  
255, Chui prospect, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720001,  
<sup>2</sup>Institute of biotechnology National Academy of Sciences Kyrgyz Republic (NAS KR),  
265, Chui prospect, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720071,  
e-mail: aibek\_abduvaliev@kumtor.com

Under the influence of anthropogenic factors the chemical composition of natural waters is changing, that could lead to negative consequences, not only in water, but also in terrestrial ecosystems. The Naryn River is the main artery of the Kyrgyz Republic. The environmental monitoring of surface waters of the Naryn River was conducted to detect the anthropogenic influence (activity of «Kumtor mining company») on the condition and quality of waterways of the region. The chemical composition of the water samples was determined using various methods (atomic-emission method with inductively coupled plasma (ICP-OES), titration method, atomic emission method with inductively coupled plasma mass-spectrometry (ICP-MS)).

The concentration of four groups of chemical compounds in surface waters of the Naryn River was detected. These are nitrogen group, major ions, some heavy metals and non-metals with the concentration equal to integers and cyanides with

a low concentration. The data on selected indicators suggest the influence of mining activities of the company on the water inflow of the Naryns River right sleeve. Seasonal variations in the concentrations of some elements are observed. A significant increase is observed in summer, during active work of the gold mining company. Elevated concentrations of lead in the studied areas may be caused by traffic near the upper stream of the Naryn River. Summertime increase in concentrations of aluminum, iron, lead could be caused by active effluent discharge from the Kumtor enterprise, as well as by glaciers melting, from which the Naryn river tributaries originate. At the same time, many of the figures show absence of pollutants accumulation in the surface waters. This is probably due to powerful high-speed streams in the Naryn River, as well as to modern technology of waste water sewage purification in the Kumtor enterprise.

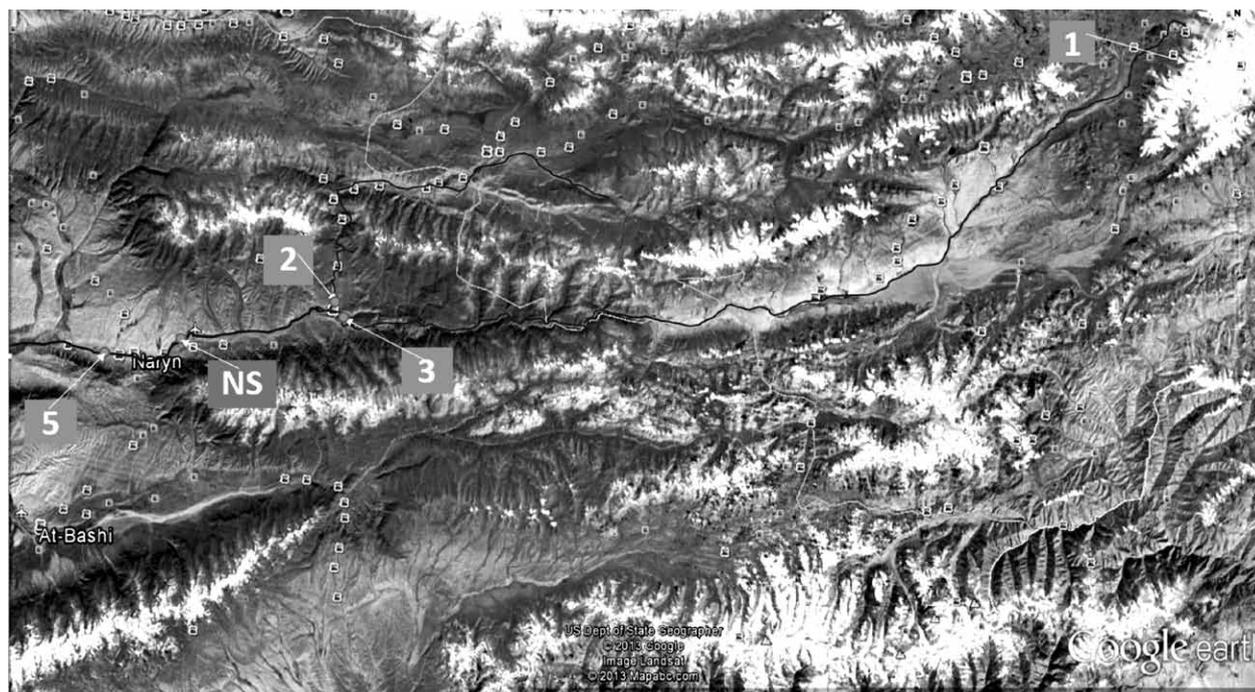
**Keywords:** mining enterprise, chemical indicators, surface water, the river Naryn, seasonal changes.

Поверхностные воды являются важнейшей составной частью литосферы, в которой протекает большая часть химических реакций. С одной стороны, реки и озёра являются местообитанием многих видов живых организмов, с другой стороны, миллионы тонн поверхностных вод используются для осуществления производственных циклов. Под влиянием антропогенных факторов меняется химический состав природных вод, что может привести к отрицательным последствиям не только для водных, но и для наземных экосистем. Река Нарын – это главная водная артерия Кыргызской Республики. Объединяясь с рекой Сырдарья, Нарын впадает в Аральское море и является одной из основных водных артерий Средней Азии. Объём водных потоков реки Нарын обеспечивается за счёт двух рукавов реки: Чон Нарына и Кичи Нарына, которые берут своё начало на вершинах горных хребтов.

В связи с близким географическим расположением горнодобывающей компании «Кумтор» и возможного её влияния на состояние водных ресурсов бассейна реки Нарын был проведён экологический мониторинг поверхностных вод бассейна реки Нарын для выявления антропогенного влияния (деятельности горнодобывающей компании «Кумтор») на состояние и качество водных артерий изучаемого региона.

### Материалы и методы

Верховье реки Нарын представляет собой стоки с разных горных хребтов Нарынской области Кыргызстана. Химический анализ образцов проводился посезонно с учётом климатических условий. Забор проб воды проводился в весенний период – с начала навигационного периода, в летний сезон – с полноводья реки, таяния ледников и в активный период действия



**Рис.** Расположение точек отбора водных проб

1 – рудник «Кумтор»; 2 – правый рукав р. Нарын, место, куда сбрасываются очищенные промышленные стоки с рудника «Кумтор»; 3– левый рукав р. Нарын; NS – верховье р. Нарын; 5– низовье р. Нарын.

Таблица 1

Динамика содержания соединений азота и фосфора в воде верховья р. Нарын

Показатель	Сентябрь 2013 г.	Ноябрь 2013 г.	Июнь 2014 г.
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	0,08	0,04	0,04
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,01	0,001	0,01
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,6	0,8	0,7
P <sub>общ.</sub> , мг/л	0,04	0,01	0,04

Таблица 2

Динамика содержания металлов и неметаллов в воде верховья р. Нарын

Показатель	Сентябрь 2013 г.	Ноябрь 2013 г.	Июнь 2014 г.	ПДК Кыргызской Республики
Al <sup>3+</sup> , мг/л	0,34	<b>0,512</b>	<b>1,22</b>	0,5
Ba <sup>2+</sup> , мг/л	0,04	0,046	0,058	0,7
F <sup>-</sup> , мг/л	0,256	0,285	н/д	–
Fe <sup>3+</sup> , мг/л	0,21	0,037	<b>1,8</b>	0,3
Si, мг/л	н/д	3,18	н/д	10
U, мг/л	н/д	0,003	н/д	–
Zn <sup>2+</sup> , мг/л	0,001	0,003	0,009	1

Примечание: жирным шрифтом выделены показатели, превышающие ПДК, н/д – нет данных, прочерк обозначает отсутствие норматива показателя.

горнодобывающей компании, а также в осенний период – в сезон окончания полноводья и таяния ледников. Географическое расположение мест отбора проб воды представлено на рисунке. Отбор и анализ проб проводился ежемесячно по сезонам в трёх повторностях.

Химический состав проб воды определялся с помощью различных методов: атомно-эмиссионного метода с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES); масс-спектрометрии (ICP-MS), используемых лабораторией Alex Stuart ltd., которая имеет международный сертификат качества. С помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой ICP-AES определяли содержание кальция, калия, магния, натрия, кремния.

Содержание хлоридов и сульфатов определяли методом ионной хроматографии. Карбонаты, бикарбонаты, общую жёсткость воды, общую щёлочность определяли методом титриметрии на автоматическом титраторе DL25 Mettler Toledo. Для определения аммонийного азота, нитритов, нитратов, общего фосфора использовали метод с колориметрическим окончанием на приборе Campspec M508 Digital UV-Visible Spectrophotometer, Spectronic Campspec Ltd. Содержание общего азота определяли по Кьельдалю. Мутность воды измеряли на турбидиметре HACH2100N [1].

Для определения ионов следующих элементов и соединений: Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, а также определения общей

жёсткости, общей щёлочности, аммиака, нитритов, нитратов, общего фосфора, цианидов свободных и слабодиссоциирующих были использованы колориметрический метод, атомно-абсорбционный с холодным паром и др. [1, 2].

### Результаты и обсуждение

Химический состав поверхностных вод изучался посезонно в зависимости от климатических условий региона. В зимний период деятельность горнорудного предприятия снижена по сравнению с летним периодом времени. В таблице 1 представлены данные по содержанию соединений азотной группы и фосфора в водах р. Нарын по различным месяцам.

Концентрация нитратных соединений постепенно нарастает к зимнему времени года. Однако значительных различий по данным группам не выявлено. Соединения азотной группы и фосфора имеют биологически важное значение для обитателей водоёмов. Нутриенты являются биологически значимыми элементами, необходимыми для обеспечения нормальной жизнедеятельности живых организмов. В летнее время отмечается увеличение численности популяций различных видов рыб в бассейне р. Нарын. Встречаются следующие виды рыбы: горный осман (*Gymnodiptychus dybowskii*), маринка (*Schizothorax*), форель (*Oncorhynchus mykiss*) [3]. Загрязнение поверхностных вод носит сезонный характер (табл. 2).

Более высокая концентрация ионов двух металлов (алюминия и железа) в июне, вероятно, связана с началом активных сбросов промышленных стоков, накопленных на предприятии «Кумтор». Однако в осенний период концентрация этих элементов снижается и не превышает ПДК поверхностных вод для Кыргызской Республики.

В природных водах алюминий содержится в виде малотоксичных химических соединений, например, фторида алюминия. Вид катиона или аниона зависит в первую очередь от кислотности водной среды [4]. Концентрации алюминия в водоёмах России колеблются от 0,001 до 10 мг/л [5]. Результаты полученных исследований по р. Нарын свидетельствуют о незначительном повышении концентрации алюминия в различные месяцы года. При суммарном учёте накоплений за год значения содержания соединений алюминия достигают 12 мг/л. Следует учитывать мощность и скорость водных потоков, а также кислотность водной среды, влияющих на снижение концентраций элементов [6].

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям. Обычно в водоёмах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Осенне-весеннее перемешивание водных масс (гомותרмия) сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде Fe(OH)<sub>3</sub> [6]. Сезонное увеличение содержания железа в водных потоках изученного участка, вероятно, является следствием сброса сточных вод горнодобывающего предприятия «Кумтор».

С понижением температуры наблюдается повышение концентраций неметаллов: фтора (F<sup>-</sup>) и кремния в поверхностных водах р. Нарын. Увеличение концентраций этих элементов, вероятно, связано с особенностями геоморфологии Терскойских хребтов, с истоков которых и берет своё начало р. Нарын. Нарастание концентрации в октябре-ноябре, вероятно, обусловлено таянием ледников, а также вымыванием соединений из горных пород.

Согласно анализу содержания главных ионов (табл. 3) следует отметить, что летом правый приток р. Нарын приобретает большую жёсткость, чем в зимний период. Это видно из показателей концентраций бикарбонатов калия, магния, общей жёсткости и общей щёлочности. Зимой показатели выравниваются, и оба притока имеют схожие концентрации главных ионов.

Из данных таблицы 4 следует, что почти все показатели не менялись в зависимо-

Таблица 3

Динамика содержания главных ионов и некоторых показателей в воде верховья р. Нарын

Показатель	Сентябрь 2013 г.	Ноябрь 2013 г.	Июнь 2014 г.	ПДК Кыргызской Республики
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	55,1	63,9	51,5	–
Cl <sup>-</sup> , мг/л	4,2	6,1	3,1	350
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	1	1	1	–
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	130	165	135	–
K <sup>+</sup> , мг/л	1,78	1,71	1,54	–
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	15,3	17,7	13,4	50
Na <sup>+</sup> , мг/л	7,94	8,99	7,14	200
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	61	68	60	500
Общ. жёсткость, мг/л	170	210	170	–
Общ. щёлочность, мг/л	107	133	112	–
Общ. взвеш. частицы, мг/л	105	272	260	–
Общ. раств. частицы, мг/л	41	4	96	–
Мутность, NTU	45	8,1	1,7	–

Примечание: прочерк обозначает отсутствие норматива показателя.

Таблица 4

Динамика содержания цианидов и некоторых элементов в воде верховья р. Нарын

Показатель	Сентябрь 2013 г.	Ноябрь 2013 г.	Июнь 2014 г.	ПДК Кыргызской Республики
Цианиды своб., мг/л	0,005	0,005	0,005	0,035
Цианиды общ., мг/л	0,005	0,005	0,005	–
Цианидыслабодиссоц., мг/л	0,005	0,005	0,005	–
Серебро, мг/л	0,003	0,003	0,003	0,05
Бериллий, мг/л	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Кадмий, мг/л	0,0003	0,0003	0,0003	0,001
Кобальт, мг/л	0,004	0,004	0,004	0,1
Хром, мг/л	0,008	0,008	0,008	0,05
Медь, мг/л	0,005	0,005	0,003	0,1
Ртуть, мг/л	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Марганец, мг/л	0,007	0,006	0,041	0,1
Молибден, мг/л	0,005	0,004	0,016	0,1
Никель, мг/л	0,005	0,005	0,005	0,1
Свинец, мг/л	0,002	0,002	0,005	0,01
Сурьма, мг/л	0,001	0,001	0,001	0,005
Селен, мг/л	0,001	0,001	0,001	0,01
Ванадий, мг/л	0,006	0,006	0,006	0,1
Мышьяк, мг/л	0,001	0,004	0,001	0,01

Примечание: прочерк обозначает отсутствие норматива показателя.

сти от сезонов года, за исключением концентрации меди, марганца, молибдена, свинца и мышьяка.

Содержание марганца в речных водах вариабельно; дисперсия содержания растворённого марганца определяется в основном климатом и составом пород с площадей водосбора [7]. В частности, экстремально высокие концентрации марганца порождаются дренированием рудных территорий реками.

Отмечено существенное повышение содержания свинца в точках отбора в летнее время до 0,005 мг/л. Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения эндогенных (галенит) и экзогенных (англезит, церуссит и др.) минералов. Значительное повышение содержания свинца в окружающей среде (в том числе и в поверхностных водах) связано со сжиганием углей, применением тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе, с выносом соединений свинца в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т. д.

Повышенные концентрации свинца на изученных участках, вероятно, обусловлены влиянием транспортных средств, проезжающих верховья р. Нарын. Летнее повышение концентраций, вероятно, обусловлено актив-

ным сбросом стоков с предприятия «Кумтор», так как пробы снимались непосредственно ниже точки сброса отработанных вод. Разбавление текущими поверхностными водами не приводит к превышению пределов допустимых концентраций.

### Заключение

Проведённые нами исследования по содержанию тяжёлых металлов в водах притоков р. Нарын свидетельствуют, что концентрации железа, алюминия и марганца повышаются в сезон паводков и таяния ледников, а также в периоды сброса сточных вод горнодобывающей компании Кумтор. Наблюдаются сезонные изменения в воде концентраций химических соединений. Очевидно, что здесь преобладает влияние местных ландшафтно-геологических условий, а также протяжённость речного стока. Высокие концентрации элементов порождаются дренированием реками рудных территорий, к которым относится всё верховье р. Нарын. К поздней осени концентрации взвешенных частиц, которые в основном состоят из железа, алюминия и марганца, на порядки уменьшаются, и вода в р. Нарын осветляется. Таким образом, за исследованный период на участках взятых проб выявлено сезонное изменение ряда показате-

лей поверхностных вод бассейна р. Нарын. Повышение содержания свинца, алюминия, железа в летний период является результатом антропогенной нагрузки. В то же время многие показатели свидетельствуют об отсутствии накопления загрязняющих веществ в поверхностных водах. Вероятно, это обусловлено мощными скоростными потоками воды в р. Нарын и современными технологиями очистки отработанных сточных вод предприятия «Кумтор».

*Авторы благодарят Ч. Айдыралиеву за помощь в проведении экспериментов. Также выражают благодарность в проведении показателей Иманакунову С. Б., менеджеру лаборатории Alex Stuart Ltd., и Чурмакову Э., ведущему специалисту лаборатории Alex Stuart Ltd.*

## Литература

1. ASTM в СНГ: [www.ASTM.com](http://www.ASTM.com)
2. Сборник унифицированных методов анализа вод. Министерство здравоохранения Кыргызской Республики. Бишкек, 2000.
3. Абдувалиев А.М., Худайбергенова Б.М. Мониторинг влияния деятельности горнорудного предприятия «Кумтор» на качество водных ресурсов (на примере реки Нарын) // Вестник КазНУ. Серия экологическая. 2014. №1/1(40). С. 4–8.
4. Aluminium Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability / Ed. J.A.S.Green. ASM International, 2007. 220 p.
5. Боконбаев К. Дж. Справочник предельно допустимых концентраций, ориентированных безопасных

уровней воздействия, допустимых уровней, методов контроля и других характеристик вредных веществ в объектах окружающей среды. Бишкек: Олимп, 1997. 335 с.

6. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеопублицат, 1988. 240 с.
7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основные закономерности геохимии марганца. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2013. 40 с.

## References

1. ASTM in CIS: [www.ASTM.com](http://www.ASTM.com).
2. Standardized methods for analyzing water. Ministerstvo zdravookhraneniya Kyrgyzskoy Respubliki. Bishkek, 2000. (in Russian)
3. Abduvaliev A.M., Khudaibergenova B.M. Monitoring the impact of the mining enterprise Kumtor activities on water quality (on the Naryn river example) // Vestnik KazNU. Seria ekologicheskaya. 2014. №1 / 1 (40). P. 4–8. (in Russian)
4. Aluminium Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability / Ed. J.A.S.Green. ASM International, 2007. 220 p.
5. Bokonbaev K. Dzh. Directory of maximum allowable concentrations, occupational exposure limits, permissible levels, control methods, and other characteristics of hazardous substances in the environment. Bishkek: Olimp, 1997. 335 p. (in Russian)
6. Zenin A.A., Belousova N.V. Hydrochemical vocabulary. L.: Hydrometeopublicat, 1988. 240 p. (in Russian)
7. Udovitch Ya.E., Ketris M.P. Basic laws of geochemistry of manganese. Syktyvkar: Komi NC UrO RAN, 2013. 40 p. (in Russian)

**Динамика альгосинузий пойменных биогеоценозов  
государственного природного заповедника «Нургуш»**

© 2016. О.С. Пирогова<sup>1</sup>, аспирант, Л.В. Кондакова<sup>1,2</sup>, д.б.н., зав.кафедрой,  
<sup>1</sup>Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,  
<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
e-mail: kaf\_eco@vshu.ru

Изучена динамика альгосинузий пойменных луговых и лесных биогеоценозов государственного природного заповедника «Нургуш» (Кировская область). Всего в альгосинузиях выявлено 92 вида водорослей и цианобактерий (ЦБ). Альгосинузии пойменных биогеоценозов несут черты альгофлоры зональных типов почв. По видовому разнообразию преобладают зелёные водоросли и ЦБ. В пойменных луговых биогеоценозах отмечено близкое соотношение видов зелёных водорослей и ЦБ (35,5 и 34,2% соответственно). Жёлтозелёные и эустигматофитовые водоросли составляли 13,2% альгофлоры, что в полтора раза ниже среднего значения данного отдела по альгофлоре заказника. В лесных биогеоценозах наибольшее видовое разнообразие представлено зелёными водорослями (36,5%), ЦБ составляли 30,6%. Жёлтозелёные и эустигматофитовые водоросли составляли 16,4%. Коэффициенты флористической связи Сьёренсена-Чекановского пойменных биогеоценозов показывают умеренное сходство сравниваемых альгофлор, что подчёркивает сходный характер воздействия основных абиотических факторов на их формирование. Численность микрофототрофов в луговых биогеоценозах была наивысшей в августе, в лесных биогеоценозах – в сентябре. Наиболее высокие показатели численности альгофлоры в течение всего сезона наблюдений отмечены в ивовом биогеоценозе, расположенном на берегу реки Вятки.

**Ключевые слова:** альгосинузия, биогеоценоз, альгофлора, цианобактерии, численность, микрофототрофы.

**Dynamics of algosynusiae of bottomland meadow biogeocoenoses  
of the State nature reserve «Nurgush»»**

O. S. Pirogova, L. V. Kondakova,  
<sup>1</sup>Vyatka State University,  
36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,  
<sup>2</sup>Institute of Biology  
of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,  
28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,  
e-mail: kaf\_eco@vshu.ru

The dynamics of algosynusia of floodplain meadow and forest ecosystems of the State nature sanctuary «Nurgush» (Kirov region) was researched. 92 species of algae and cyanobacteria (CB) were identified in the algosynusiae. Algosynusiae of floodplain biogeocoenoses have features of algal flora of zonal types of soils. The species diversity is dominated by green algae and CB. In the floodplain meadows the number of green algae and CB species is about the same (35.5 and 34.2% respectively). 13.2% algae is represented with Xanthophyta and Eustigmatophyta, which is below average for Kirov region. In forest biocoenoses the greatest species diversity is represented by green algae (36.5%), CB account for 30.6%, Xanthophyta and Eustigmatophyta – for 16.4%. For floodplain ecosystems the coefficients of floristic connection of Sorensen-Czekanowski show moderate affinity of the Algotoflora compared, that emphasizes the similar nature of the impact of major abiotic factors on their formation. The highest number of micro phototrophs in meadow biocoenoses is in August, while in forest biocoenoses – in September. The highest number of algal flora throughout the season observations is found in willow biocoenosis is located on the banks of the Vyatka river.

**Keywords:** algosynusiae, biocoenosis, algae, cyanobacteria, quantity, micro phototrophs.

Почвенные водоросли и цианобактерии (ЦБ) повсеместно распространены в почвах. Являясь фототрофными организмами, они приурочены к самому верхнему слою почвы, что позволяет включить их в группу напочвенных синузий [1]. Альгосинузии несут черты альгофлоры зональных типов почв. Структурные и функциональные особенности альгосинузий зависят от абиотических и биотических условий среды. Границы альгосинузий связаны с границами фитоценозов. Динамика альгосинузий отражает сезонное развитие видового состава микрофототрофов.

Целью исследования являлось изучение динамики видового состава и численности альго-цианобактериальных синузий пойменных биогеоценозов заповедника «Нургуш».

**Объекты и методы**

Заповедник «Нургуш» располагается в излучине правого берега реки Вятки, в её среднем течении. Территория заповедника сложена современными аллювиальными от-

ложениями, рельеф типично пойменный, сложен множеством грив и межгривных понижений, обилием озёр-старич. Лесопокрытая территория составляет 87,4% площади заповедника [2].

Почвенные пробы для анализа были отобраны в 2012–2015 гг. с шести участков пойменных биогеоценозов (табл. 1). Почвы идентифицированы А. М. Прокашевым [3]. Отбор проб проводили в соответствии с требованиями альгологических исследований [6]. Видовой состав выявляли прямым микроскопированием свежевзятой почвы и постановкой чашечных культур [4]. Численность клеток определяли методом прямого микроскопирования на мазках [5].

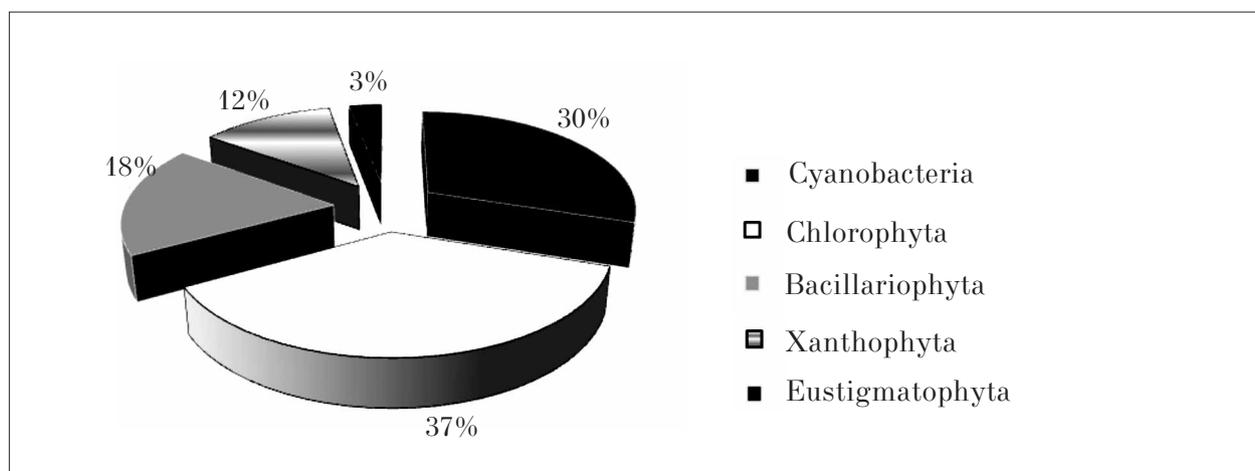
**Результаты и их обсуждение**

Всего в альгосинузиях пойменных биогеоценозов было выявлено 92 вида почвенных водорослей и ЦБ, в том числе Cyanobacteria – 28, Chlorophyta – 33, Xanthophyta – 11, Bacillariophyta – 17, Eustigmatophyta – 3 (рис. 1).

**Таблица 1**

Пойменные биогеоценозы и почвы

Тип биогеоценозов	Тип почв
Пойменный разнотравно-злаковый луг мятликово-таволгово-костровый	Аллювиальная дерновая суглинистая почва на современном аллювии
Пойменный злаково-разнотравный луг кострово-осоково-таволговый	Аллювиальная дерновая среднесуглинистая почва на современном аллювии
Дубняк чинно-подмаренниково-снытево-клеверный	Аллювиальная дерновая глинистая почва на современном аллювии
Липово-дубовый лес клеверо-снытево-костровый	Аллювиальная дерновая глинистая почва на современном аллювии
Осиново-липовый лес хвощово-будрово-снытевый	Аллювиальная дерновая среднесуглинистая почва на современном аллювии
Ивняк горцево-двуклосточниково-осоковый	Аллювиальная дерновая среднесуглинистая почва на современном аллювии



**Рис. 1.** Соотношение основных отделов альгофлоры пойменных биогеоценозов

Таблица 2

Видовое разнообразие луговых биогеоценозов заповедника «Нургуш»

Фитоценозы	Число видов водорослей											
	Cyanobacteria		Chlorophyta		Xanthophyta		Bacillariophyta		Eustigmatophyta		Всего	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Разнотравно-злаковый луг	22	34,9	20	31,8	6	9,5	13	20,6	2	3,2	63	100
Злаково-разнотравный луг	21	35	20	33,3	8	13,3	9	15	2	3,4	60	100
Всего по отделу	26	34,2	27	35,5	8	10,5	13	17,1	2	2,7	76	100

Примечание: 1 – число видов; 2 – процент.

Таблица 3

Видовое разнообразие лесных биогеоценозов заповедника «Нургуш»

Фитоценозы	Число видов водорослей											
	Cyanobacteria		Chlorophyta		Xanthophyta		Bacillariophyta		Eustigmatophyta		Всего	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Липово-дубовый	18	35,3	15	29,4	5	9,8	11	21,6	2	3,9	51	100
Дубовый	21	31,8	22	33,3	9	13,6	12	18,2	2	3,1	66	100
Осиново-липовый лес	17	30,4	19	33,9	8	14,3	11	19,6	1	1,8	56	100
Всего по отделу	26	30,6	31	36,5	11	12,9	14	16,5	3	3,5	85	100

Примечание: 1 – число видов; 2 – процент.

Таблица 4

Доминирующие виды почвенных водорослей и ЦБ пойменных биогеоценозов

Фитоценоз	Виды водорослей и ЦБ	
	лето	осень
Ивняк	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Phormidium breve</i> , <i>Plectonema</i> sp., <i>Nitzschia palea</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>
Разнотравно-злаковый луг	<i>Chlorococcum</i> sp., <i>Klebsormidium nitens</i> , <i>Phormidium molle</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Klebsormidium nitens</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i>
Злаково-разнотравный луг	<i>Gongrosira debaryana</i> , <i>Chlorococcum</i> sp., <i>Leptolyngbya frigida</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Phormidium breve</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>
Дубовый лес	<i>Coccomyxa dispar</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> , <i>Xanthonema exile</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i>	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Klebsormidium nitens</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i> , <i>Nitzschia palea</i>
Осиновый лес	<i>Klebsormidium nitens</i> , <i>Klebsormidium rivulare</i> , <i>Tribonema minus</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>	<i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Coccomyxa dispar</i> , <i>Stichococcus bacillaris</i> , <i>Nitzschia palea</i>
Липово-дубовый лес	<i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Chlorococcum</i> sp., <i>Nitzschia palea</i> , <i>Phormidium molle</i>	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Chlorococcum</i> sp., <i>Leptolyngbya frigida</i>

По видовому разнообразию преобладают зелёные водоросли и ЦБ.

Альгофлора луговых биогеоценозов представлена 76 видами почвенных водорослей и ЦБ (табл. 2). Наибольшее число видов выявлено из отделов Chlorophyta (27 видов) и Cyanobacteria (26 видов).

В лесных фитоценозах заповедника отмечено 85 видов почвенных водорослей и ЦБ (табл. 3). Наибольшее видовое разнообразие представлено зелёными водорослями и ЦБ.

Состав доминирующих видов не подвержен резким изменениям. К осени в составе доминантов увеличивается роль ЦБ и диатомо-

Таблица 5

Коэффициенты Сьёренсена-Чекановского пойменных биогеоценозов ГПЗ «Нургуш»

Фитоценоз	Ивовый	Разнотравно-злаковый	Злаково-разнотравный	Осиновый	Дубовый	Липово-дубовый
Ивовый		0,72	0,73	0,68	0,69	0,64
Разнотравно-злаковый			0,76	0,75	0,70	0,68
Злаково-разнотравный				0,72	0,76	0,64
Осиновый					0,75	0,63
Дубовый						0,59

вых водорослей (табл. 4). Умеренное сходство альгофлор разных биогеоценозов поймы р. Вятки показывает сходный характер воздействия основных абиотических факторов среды на их формирование (табл. 5).

Экологический анализ альгофлоры показал преобладание представителей Р-формы – нитчатых ЦБ. На второе-третье места выходят представители В-формы (диатомовые водоросли) и Сh-формы (виды-убиквисты) (табл. 6).

Таблица 6

Спектр жизненных форм альгофлоры пойменных биогеоценозов ГПЗ «Нургуш»

Тип фитоценоза	Спектр жизненных форм
Разнотравно-злаковый луг	P <sub>15</sub> B <sub>13</sub> Ch <sub>10</sub> H <sub>7</sub> CF <sub>5</sub> X <sub>5</sub> C <sub>5</sub> PF <sub>1</sub> amph <sub>1</sub> hydr <sub>1</sub>
Злаково-разнотравный луг	P <sub>14</sub> Ch <sub>11</sub> H <sub>9</sub> B <sub>9</sub> X <sub>6</sub> CF <sub>5</sub> C <sub>4</sub> amph <sub>1</sub> hydr <sub>1</sub>
Липово-дубовый лес	P <sub>11</sub> B <sub>11</sub> Ch <sub>6</sub> X <sub>6</sub> H <sub>6</sub> CF <sub>4</sub> C <sub>4</sub> PF <sub>1</sub> amph <sub>1</sub> hydr <sub>1</sub>
Дубовый лес	P <sub>14</sub> Ch <sub>12</sub> B <sub>12</sub> H <sub>9</sub> X <sub>8</sub> CF <sub>5</sub> C <sub>5</sub> amph <sub>1</sub>
Осиновый лес	P <sub>14</sub> Ch <sub>11</sub> B <sub>11</sub> H <sub>7</sub> X <sub>6</sub> C <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> amph <sub>1</sub> hydr <sub>1</sub>
Ивовый лес	P <sub>17</sub> B <sub>12</sub> Ch <sub>7</sub> CF <sub>5</sub> X <sub>5</sub> C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> PF <sub>1</sub> amph <sub>1</sub>

Таблица 7

Динамика численности альгосинузий пойменных биогеоценозов ГПЗ «Нургуш» (тыс. кл./ г почвы)

Месяц	Тип биогеоценоза					
	Разнотравно-злаковый луг	Злаково-разнотравный луг	Липово-дубовый лес	Дубовый лес	Осиново-липовый лес	Ивовые заросли
Июль	190,75±12,65	178,15±14,37	78,82±11,97	87,33±9,51	72,52±10,34	262,96±10,84
Август	197,06±13,73	174,67±10,04	92,39±9,55	99,0±10,53	82,29±8,23	289,12±12,19
Сентябрь	180,67±14,48	163,33±14,58	97,09±10,2	105,32±9,17	87,97±10,23	324,76±14,77
Октябрь	174,36±18,94	156,71±12,43	93,0±8,98	95,54±8,51	82,92±10,58	297,65±13,15
Ноябрь	147,88±12,42	108,78±10,03	61,8±7,35	60,22±8,99	54,54±7,34	161,12±9,2

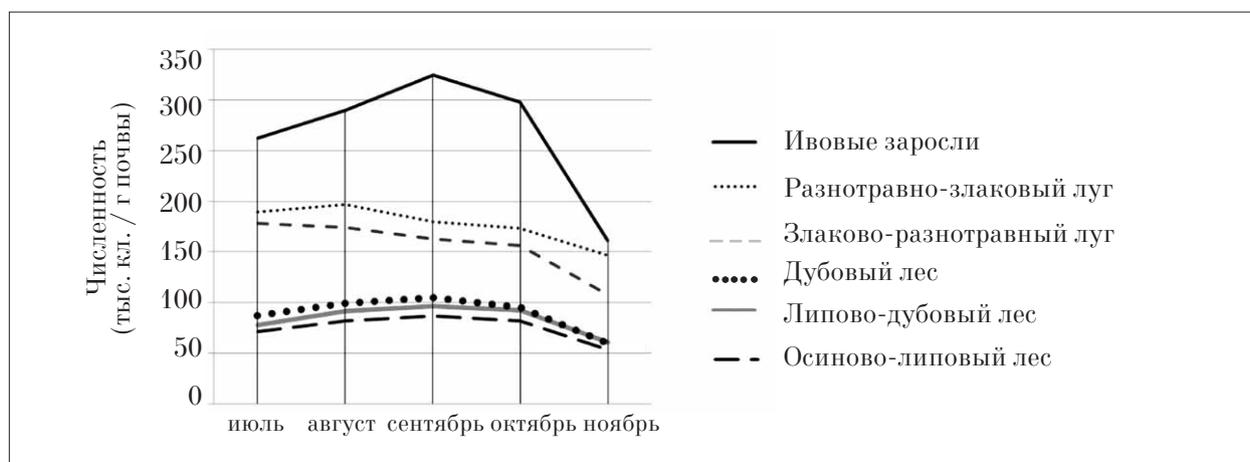
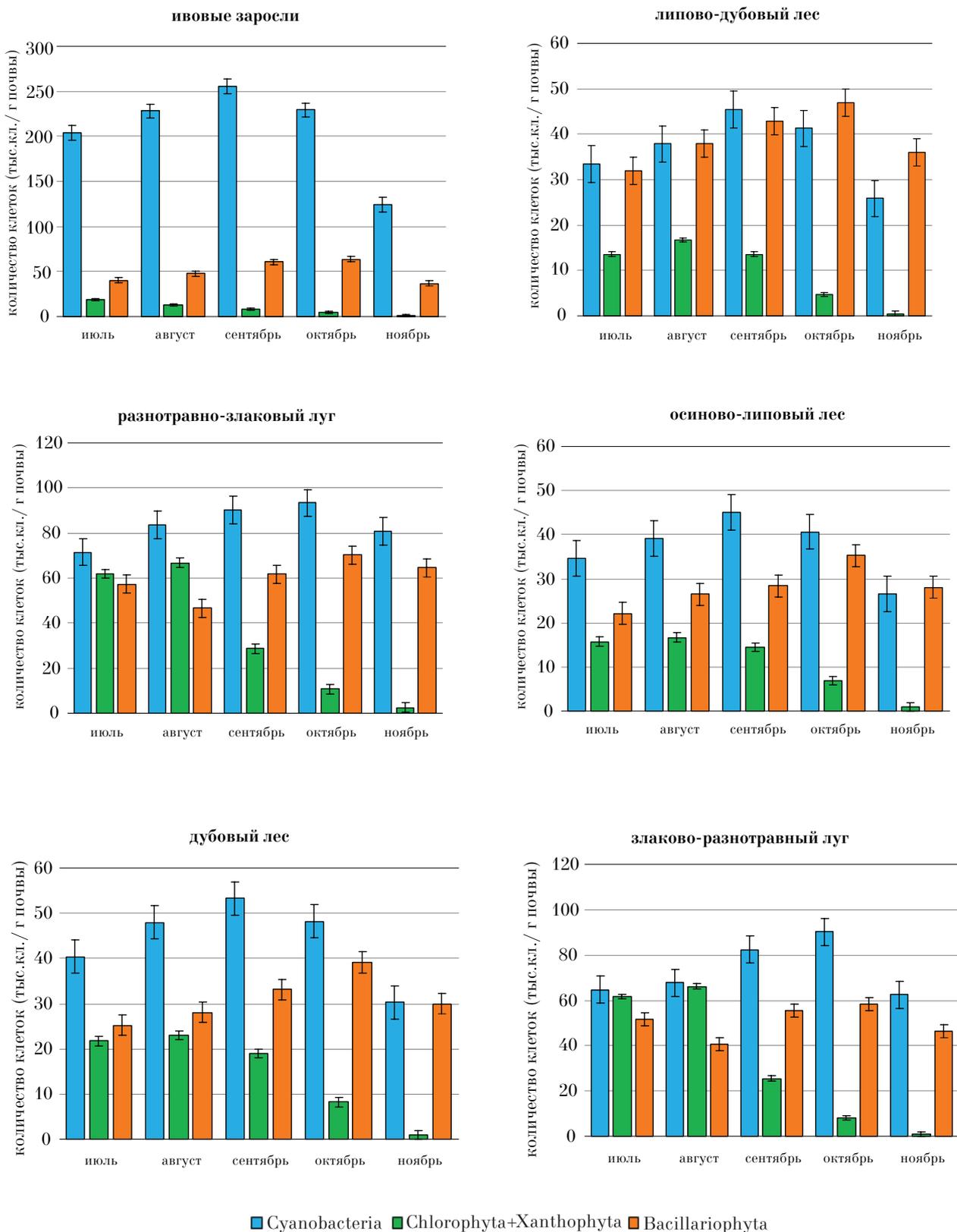


Рис. 2. Динамика численности альгофлоры пойменных биогеоценозов заповедника «Нургуш»

**О. С. ПИРОГОВА, Л. В. КОНДАКОВА**  
**“ДИНАМИКА АЛЬГОСИНУЗИЙ ПОЙМЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА “НУРГУШ” (С. 33)**



**Рис. 3.** Сезонная динамика численности водорослей и ЦБ пойменных биogeоценозов ГПЗ «Нургуш»

Динамика численности водорослей за 2013 год представлена в таблице 7 и на рисунке 2.

Количественный состав альгофлоры пойменных биогеоценозов включает представителей всех основных отделов почвенных водорослей и ЦБ. Ивовый биогеоценоз, расположенный непосредственно у берега реки Вятки, отличался наиболее высокой численностью микрофототрофов в течение всего вегетационного периода. Доминировали ЦБ, составляя от  $204 \pm 5,58$  (июль) до  $255,4 \pm 8,15$  (сентябрь) тыс. кл./г почвы. Численность ЦБ оставалась достаточно высокой и в ноябре –  $124,23 \pm 5,45$  тыс. кл./г почвы. Численность диатомовых водорослей в данном биогеоценозе в течение всего сезона составляла от  $40,36 \pm 2,76$  (июль) до  $63,37 \pm 4,49$  (октябрь) тыс. кл./г почвы.

Количественные показатели альгофлоры луговых биогеоценозов были ниже (табл. 7). Наибольшие показатели численности отмечены в летний период, несколько меньше осенью. Преобладали ЦБ и диатомовые водоросли.

В лесных биогеоценозах показатели численности микрофототрофов были в два раза ниже луговых (рис. 3, см. цв. вкладку; табл. 7).

В альгосинузиях ивового биогеоценоза с июля по ноябрь доминировали ЦБ, составляя от 77,1 до 78,7% альгофлоры.

В луговых биогеоценозах доминирующую роль в альгосинузиях также играли ЦБ, составляя от 37,4 до 53,4% численности альгофлоры. При этом процентное соотношение ЦБ увеличивалось от лета к осени. Численность зелёных водорослей несколько возрастала с июля по август, а в ноябре составляла менее 2% от общей численности.

Альгосинузии лесных биогеоценозов имели сходную динамику численности. Доминировали ЦБ и диатомовые водоросли, численность зелёных водорослей резко сокращалась к осени.

### Заключение

Сезонная динамика альгосинузий пойменных биогеоценозов заповедника «Нургуш» проявляется в изменении видового состава альгофлоры и количественных показателей численности. От лета к осени уменьшается видовое разнообразие зелёных водорослей, растёт численность ЦБ и диатомовых водорослей. Коэффициент флористической связи Сьёренсена-Чекановского показывает умеренное сходство сравниваемых альгофлор, что, вероятно, определяется сходным характером

абиотических факторов среды сравниваемых биогеоценозов. Это подтверждает и сходство жизненных форм. На всех пойменных участках преобладают водоросли Р-формы, второстепенные места занимают диатомовые водоросли (В-форма) и виды-убиквисты (Сh-форма).

Наибольшая численность ЦБ и водорослей в течение всего вегетационного сезона отмечена в ивовом биогеоценозе, расположенном на берегу реки Вятки. Луговые биоценозы, по сравнению с лесными, имели более богатое видовое разнообразие и в два раза выше численность клеток.

### Литература

1. Новичкова-Иванова Л.Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. Л.: Наука, 1980. 256 с.
2. Тарасова Е.М., Кондрухова С.В., Целищева Л.Г. Государственный природный заповедник «Нургуш» // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 90–97.
3. Прокашев А.М. Почвы заповедника «Нургуш» // Научные исследования как основа охраны природных комплексов заповедников и заказников: Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции. Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2009. С. 121–126.
4. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
5. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
6. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.

### References

1. Novichkova-Ivanova L.N. Soil algae phytocenoses Sahara and Gobi desert region. L.: Nauka, 1980. 256 p. (in Russian)
2. Tarasova E.M., Kondrkhova S.V., Tselishcheva L.G. State Nature sanctuary «Nurgush» // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2009. № 2. P. 90–97. (in Russian)
3. Prokashev A.M. Soils of the Nature sanctuary «Nurgush» // Nauchnye issledovaniya kak osnova okhrany prirodnykh kompleksozapovednikov i zakaznikov: Sb. materialov Vserossiyskoynauchno-prakticheskoy konferentsii. Kirov: OOO «Tipografiya «StarayaVyatka», 2009. P. 121–126. (in Russian)
4. Shtina E.A., Gollerbach M.M. Ecology of soil algae. M.: Nauka, 1976. 143 p. (in Russian)
5. Domracheva L.I. «Flowering» of the soil and the laws of its development. Syktyvkar. 2005. 336 p. (in Russian)
6. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae forest ecosystems. M.: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian)

## Реакция альго-цианобактериальных комплексов на возрастающие концентрации ионов меди в почве под различными сельскохозяйственными культурами

© 2016. Л. И. Домрачева<sup>1,2</sup>, д.б.н., профессор, Е. А. Горностаева<sup>3</sup>, к.б.н., ст. преподаватель,  
<sup>1</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,  
<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,,  
 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
<sup>3</sup>Вятский государственный университет,  
 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36,  
 e-mail: dli-alga@mail.ru

Под влиянием возрастающих концентраций ионов меди в почве происходят изменения в количественном статусе альго-цианобактериальных комплексов. Изменяются структурные показатели данных комплексов. Эти изменения обусловлены не только действием тяжёлого металла (меди), но в определённой степени зависят от той сельскохозяйственной культуры, под которой происходит развитие водорослей и цианобактерий в почве, вследствие особенностей развития корневой системы, особенностей выноса питательных веществ из почвы и выделяемых экзометаболитов.

**Ключевые слова:** водоросли, цианобактерии, микробные комплексы, медь, структура популяций, численность фототрофов, сельскохозяйственные культуры.

## The reaction of algo-cyanobacterial complexes on increasing concentration of copper ions in soil under different agricultural crops

L. I. Domracheva<sup>1,2</sup>, E. A. Gornostaeva<sup>3</sup>,  
<sup>1</sup>Vyatka State Agricultural Academy,  
 133 Oktyabrsky Prospect, Kirov, Russia, 610017,  
<sup>2</sup>Institute of Biology  
 of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,  
 28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,  
<sup>3</sup>Vyatka State University,  
 36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,  
 e-mail: dli-alga@mail.ru

Studying the influence of increasing concentration of copper ions (3, 150, 300 mg/kg) on algo-cyanobacterial complexes in soil under crops of wheat, mustard and peas has shown change in quantitative and structural indices of these complexes. Under all cultures a high degree of negative relative dependence between the doses of copper ions and the number of eukaryotic green algae and seaweed diatoms is revealed (with correlation coefficients from -0.5150 to -0.9977). The increasing concentration of copper also has a negative effect on development of prokaryotic phototrophs (cyanobacteria) under crops of mustard and peas (with correlation coefficients from -0.9614 to -0.9738). At the same time the increasing concentration of copper practically doesn't influence the development of cyanobacterial complexes under wheat crops (coefficient of correlation -0.0090). Fluctuations of the amount of algae and cyanobacteria in soil under the influence of copper ions lead to change in algo-cyanobacterial population structure of complexes. As a rule, technogenic influence leads to the effect of cyanofitization which is shown in increase of the share of cyanobacteria in phototrophic structure of the populations under the influence of various pollutants. Here the effect of cyanofitization of algo-cyanobacterial complexes is observed only in the option with introduction of copper ions increasing concentration under wheat, where the contribution of cyanobacteria to the structure of phototrophic complexes increases from 66.9% in control to 87.3% (Cu<sup>2+</sup> 300 mg/kg). Thus in agroecosystems a certain impact is made by higher plants on the development of phototrophic microbial groups owing to certain features of root system development and of carrying out nutrients from soil and allocated exometabolites which is shown in intensity of algae and cyanobacteria reproduction in soil under various cultures.

**Keywords:** algae, cyanobacteria, microbial complexes, copper, population structure, abundance of phototrophs, crops.

Развитие микробных комплексов в почве постоянно находится под влиянием абиотических и биотических факторов. В почве агроэкосистем к природным воздействиям присоединяются и антропогенные. В частности, кроме агрохимикатов (минеральных удобрений, пестицидов, стимуляторов роста) в почвы сельскохозяйственного назначения в результате аэротехногенного загрязнения поступают поллютанты, являющиеся выбросами промышленных предприятий, которые могут распространяться в радиусе десятков километров от источника загрязнения [1]. В числе приоритетных загрязнителей оказываются ионы тяжёлых металлов (ТМ), которые кардинальным образом меняют состав и метаболизм микробных сообществ [2, 3]. Результатами подобных воздействий являются изменение видового и группового состава микробных комплексов, смена доминантов, изменение функциональной активности (дыхания, фотосинтеза, азотфиксации) у соответствующих групп микроорганизмов [4, 5]. Одно из последствий загрязнения почвы – увеличение доли наночастиц бактерий, так называемый феномен нанотрансформации [6]. Характерной особенностью такого состояния является уменьшение клеточного размера и высокая устойчивость клеток к физическим и химическим воздействиям.

Ярко выраженными ответными реакциями на действие поллютантов обладает фототрофный микробный комплекс почвы, включающий различные отделы водорослей и цианобактерии (ЦБ). Проблему взаимодействия фототрофов и поллютантов исследуют в нескольких направлениях. Так, на уровне альгологически чистых культур изучают изменение морфологических, физиологических и биохимических свойств клеток водорослей и ЦБ при их контакте с токсикантами. В частности, это проявляется в появлении уродливых клеток, изменении их объёма и линейных размеров; изменении концентрации хлорофилла, феофитина и малонового диальдегида – продукта перекисного окисления липидов; интенсивности фотосинтеза и биохимилуминесценции [7, 8]. Другое важное направление исследований связано с вопросами диагностики и состояния почвы при её загрязнении по изменению качественного и количественного состава альгогруппировок. Доказано, например, что загрязнение почвы приводит к снижению видового разнообразия, монофикации альгоценозов, выходу на лидирующие позиции при разных типах загрязнения

отдельных видов и группировок водорослей или ЦБ [9].

Цель данной работы – изучить реакцию альго-цианобактериальных комплексов почвы на возрастающие концентрации ионов меди под такими сельскохозяйственными культурами, как пшеница, горох и горчица.

### Материалы и методы

Эксперимент был заложен на опытном поле ВГСХА. Почва дерново-подзолистая, средне-суглинистая; pH – 4,1; гумус – 1,86%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 145,5 мг/кг; K<sub>2</sub>O – 127,5 мг/кг; S – 13,3 мг/кг; Cu – 0,22 мг/кг (фоновое содержание). Площадь учётной делянки – 0,24 м<sup>2</sup>. Повторность опыта 3-кратная.

Для опыта в качестве объектов исследования были выбраны представители разных семейств: злаковые – пшеница (*Triticum aestivum*) сорта Ирень, бобовые – горох (*Pisum sativum*) сорта Лучезарный, крестоцветные – горчица белая (*Sinapis alba*), лабораторная всхожесть которых составила 92, 99 и 95% соответственно.

В качестве поллютанта использована медь в виде соли (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) в концентрациях – 3, 150 и 300 мг/кг, что соответствует 1, 50 и 100 ПДК для почвы. Водные растворы токсикантов вносили в почву после посадки семян, проливая 10–15 см верхнего горизонта. Были выделены контрольные варианты для каждой серии опытов, без внесения соли меди.

Образцы почвы для количественного анализа альго-цианофлоры были отобраны с глубины 0–5 см после уборки урожая в сентябре. При прямом учёте под микроскопом [10] выделены следующие группы микророботрофов: ЦБ, а также водоросли – зелёные одноклеточные и диатомовые.

Для количественного анализа влияния возрастающих концентраций меди на численность фототрофных микробных комплексов в почве под посевами различных сельскохозяйственных культур использовали методы первичной статистической обработки результатов эксперимента. Вывод о наличии между показателями (возрастающими концентрациями Cu<sup>2+</sup> в почве и численностью фототрофов) коррелятивной зависимости делали после вычисления коэффициента корреляции Пирсона (r).

### Результаты и обсуждение

Результаты количественного анализа показали, что в почве под посевами пшеницы

Таблица 1

Влияние возрастающих концентраций меди на численность фототрофных микробных комплексов в почве под пшеницей (тыс. клеток/г)

Вариант	Водоросли		Водоросли, всего	Цианобактерии	Фототрофы, всего
	зелёные	диатомовые			
Контроль	670±50	600±100	1270±150	2570±600	3840±750
Cu <sup>2+</sup> 3 мг/кг	500±150	200±50	700±200	2800±90	3500±400
Cu <sup>2+</sup> 150 мг/кг	430±150	100±0	630±150	2430±500	3060±650
Cu <sup>2+</sup> 300 мг/кг	300±50	100±0	400±50	2730±340	3130±390

Таблица 2

Величины коэффициентов корреляции между численностью различных групп фототрофов и концентрацией ионов меди в почве под различными культурами

Культура	Водоросли зелёные	Водоросли диатомовые	Водоросли, всего	Цианобактерии	Фототрофы, всего
Пшеница	-0,8955	-0,6627	-0,7772	-0,0090	-0,7999
Горчица	-0,9823	-0,5150	-0,9960	-0,9614	-0,9685
Горох	-0,9977	-0,7124	-0,9444	-0,9738	-0,9694

Таблица 3

Влияние возрастающих концентраций меди на численность фототрофных микробных комплексов в почве под горчицей (тыс. клеток/г)

Вариант	Водоросли		Водоросли, всего	Цианобактерии	Фототрофы, всего
	зелёные	диатомовые			
Контроль	470±100	100±0	570±100	4230±460	4800±560
Cu <sup>2+</sup> 3 мг/кг	430±50	160±50	590±100	3370±280	3960±380
Cu <sup>2+</sup> 150 мг/кг	370±50	100±0	470±50	2670±800	3140±850
Cu <sup>2+</sup> 300 мг/кг	267±5	100±0	367±5	1230±40	1597±45

под влиянием возрастающих концентраций Cu<sup>2+</sup> в почве происходит, в первую очередь, неуклонное снижение численности водорослей от 1270 тыс. кл./г в контроле до 400 тыс. кл./г в варианте с внесением ионов Cu<sup>2+</sup> 300 мг/кг (табл. 1).

Наиболее остро на ионы меди реагируют диатомовые водоросли. В то же время в комплексе ЦБ снижения численности клеток по вариантам практически не наблюдается. Вычисленные коэффициенты корреляции ( $r_{\text{зелёные водоросли}} = -0,8955$ ,  $r_{\text{диатомовые водоросли}} = -0,6627$ ) показывают, что высокая степень отрицательной коррелятивной зависимости между возрастающими концентрациями Cu<sup>2+</sup> в почве и численностью фототрофов наблюдается только для водорослей, в то время как для ЦБ этот показатель равен -0,0090 (табл. 2).

Иная реакция фототрофных комплексов наблюдается в почве под посевами горчицы белой (табл. 3). Незначительное снижение численности водорослей отмечено в вариантах Cu<sup>2+</sup> 150 мг/кг и Cu<sup>2+</sup> 300 мг/кг за счёт представителей отдела Chlorophyta при нейтральной реакции диатомовых водорослей. Одновременно происходит существенное снижение общей численности фототрофов, обуслов-

ленное снижением численности популяций ЦБ от 4230 тыс. кл./г в контроле до 1230 тыс. кл./г при максимальной концентрации Cu<sup>2+</sup> в почве. Таким образом, в почве под посевами горчицы выявлен высокий уровень отрицательной коррелятивной зависимости между численностью ЦБ и концентрацией Cu<sup>2+</sup>, вносимых в почву перед посевом ( $r = -0,9614$ ).

Под посевами гороха все группировки микрофототрофов проявляют тенденцию к снижению численности клеток в вариантах с возрастающими концентрациями Cu<sup>2+</sup> в почве (табл. 4). Так, численность эукариотных водорослей при максимальной концентрации ионов меди ниже в 2,6 раза, чем в контроле; для ЦБ снижение численности в варианте Cu<sup>2+</sup> 300 мг/кг, по сравнению с контролем, происходит в 2,5 раза. Коэффициенты корреляции между численностью различных групп фототрофов и концентрацией Cu<sup>2+</sup> составляют  $r = -0,9977$  для зелёных водорослей,  $r = -0,7124$  – для диатомовых водорослей,  $r = -0,9738$  – для ЦБ (табл. 2).

Анализ структуры популяций альго-цианобактериальных комплексов (рис.) показывает, что на момент наблюдения (сентябрь) во всех вариантах и под всеми выращиваемыми

культурами доминируют ЦБ, что нормально для конца вегетационного сезона в умеренной зоне. Аксиомой является факт, что в ходе сезонной сукцессии её завершающие стадии характеризуются массовым размножением ЦБ и в агроэкосистемах, и в природных экосистемах. Однако в данном опыте степень доминирования ЦБ в контрольном варианте (при одинаковом фоновом содержании меди в почве) под разными культурами разная, составляя 66,9% – под пшеницей, 88,4% – под горчицей и 81,2% – под горохом.

Уровень доминирования ЦБ повышается по мере увеличения концентрации  $Cu^{2+}$  в почве под пшеницей с 66,9% (в контроле) до 87,3 (при  $Cu^{2+}$  300 мг/кг). Под горчицей, напротив, уровень доминирования ЦБ снижается с 88,4 (в контроле) до 77,0% (при  $Cu^{2+}$  300 мг/кг). А в почве под горохом уровень доминирования ЦБ в фототрофных комплексах остаётся практически на одном уровне во всех вариантах.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что на характер развития альго-цианобактериальных комплексов оказывает влияние не только содержание в почве такого поллютанта, как  $Cu^{2+}$ , но и высшее растение, под которым и размножаются

водоросли и ЦБ. Влияние высшего растения на микрофототрофы может быть как прямым (интенсивность развития корневой системы, густота стояния, которая определяет уровень освещения почвы), так и опосредованным (характер и объём корневых выделений, определяющий в свою очередь степень сорбции ТМ растением). Поэтому повышенная сорбционная активность той или иной культуры может стать причиной снижения прессы поллютанта на микробные комплексы почвы.

Показательно, что и в контрольном варианте с фоновым содержанием меди в почве плотность альго-цианобактериальных популяций под разными культурами разная (табл. 5). Так, минимальная численность фототрофов отмечена в почве под пшеницей, что вполне объяснимо мощным развитием мочковатой корневой системы данного злака. При этом характерной особенностью альго-цианобактериальных популяций в данном варианте является угнетение размножения не водорослей, а ЦБ. Наиболее интенсивное размножение фототрофных микроорганизмов происходит под посевами гороха.

Таким образом, в результате проведённых исследований установлено, что возрастающие концентрации  $Cu^{2+}$  в почве приводят

Таблица 4

Влияние возрастающих концентраций меди на численность фототрофных микробных комплексов под горохом (тыс. клеток/г)

Вариант	Водоросли		Водоросли, всего	Цианобактерии	Фототрофы, всего
	зелёные	диатомовые			
Контроль	670±50	370±100	1040±150	4500±890	5540±1040
3 мг/кг	650±70	170±50	820±120	3840±350	4660±310
150 мг/кг	500±100	130±30	630±130	3040±180	3670±310
300 мг/кг	300±110	100±30	400±140	1830±300	2230±440

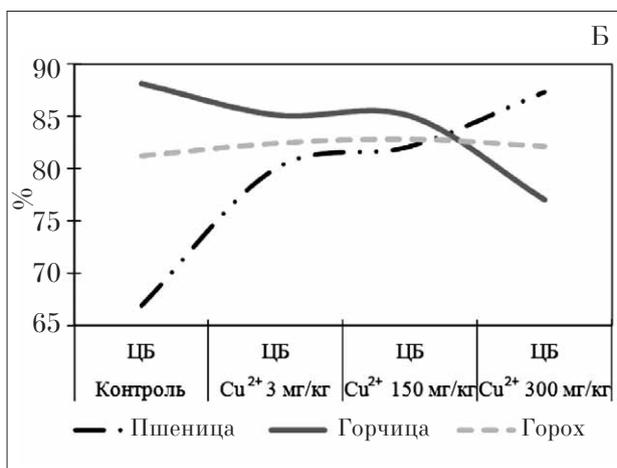
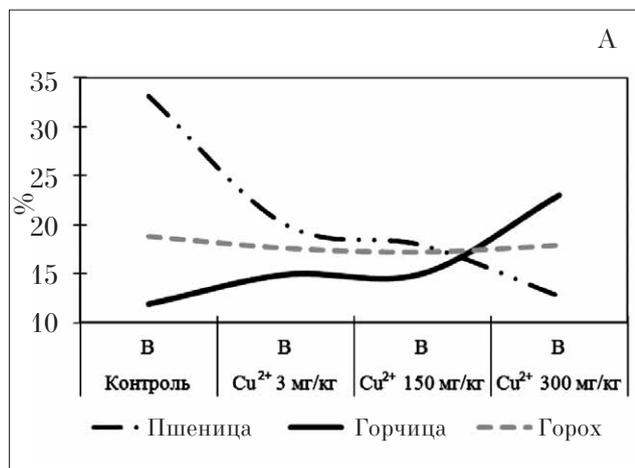


Рис. Влияние возрастающих концентраций ионов меди на структуру фототрофных популяций в почве под различными культурами (%).  
Примечание: В – водоросли, ЦБ – цианобактерии

Влияние высших растений на численность микробных фототрофных популяций в почве, тыс. кл./г

Культура	Водоросли	Цианобактерии	Фототрофы, всего
Пшеница	1270±150	2570±600	3840±750
Горчица	570±100	4230±460	4800±560
Горох	1040±150	4500±890	5540±1040

к перестройке альго-цианобактериальных комплексов, характер которой определяется не только содержанием данного ТМ в почве, но и влиянием высшего растения.

Установлено, что возрастающие концентрации меди приводят к снижению численности эукариотных водорослей под всеми выращиваемыми культурами с коэффициентами корреляциями от  $r=-0,5150$  до  $r=-0,9977$ . Следовательно, именно водоросли проявляют повышенную чувствительность к данному ТМ.

Не столь однозначна реакция прокариотных фототрофов. Если в цианобактериальных группировках в почве под горчицей и горохом возрастающие концентрации меди так же, как и в случае водорослей, приводят к снижению плотности популяции в несколько раз, то под посевами пшеницы численность ЦБ во всех вариантах опыта остаётся практически на одном и том же уровне.

Колебания численности водорослей и ЦБ в почве под действием ионов меди приводят к изменению структуры альго-цианобактериальных популяций. Как правило, следствием техногенного воздействия является эффект цианофитизации [11], который проявляется в увеличении доли ЦБ в структуре фототрофных популяций под воздействием различных поллютантов. В данном опыте эффект цианофитизации альго-цианобактериальных комплексов наблюдается только в варианте с внесением возрастающих концентраций ионов меди под пшеницу, где вклад цианобактерий в структуру фототрофных комплексов увеличивается с 66,9 (в контроле) до 87,3% ( $\text{Cu}^{2+}$  300 мг/кг). Однако в случае других растений данный эффект не наблюдается: под горчицей происходит незначительное снижение доли ЦБ по мере увеличения дозы меди, а в почве под горохом структура популяций остается практически одинаковой во всех вариантах. Вероятно, в данном случае на интенсивность размножения водорослей и ЦБ и на структуру альго-цианобактериальных группировок определено воздействие оказывает не только поллютант, но и высшее растение через корневые экссудаты и характер развития корневой системы.

## Литература

1. Ермаков А.А., Карпова Е.А., Малышева А. Т., Михайлова Ю.И., Рыжова И.Н., Сидоренкова Н. К. Оценка аэротехногенной нагрузки тяжёлых металлов на земли сельскохозяйственного назначения Московской области // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 77–83.
2. Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В., Бабьева И.П., Марфенина О.Е., Умаров М.М. Тяжёлые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5–14.
3. Фокина А.И., Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю. Тяжёлые металлы как фактор изменения метаболизма у микроорганизмов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 5–18.
4. Krumova E.T., Stoitsova S.R., Paunova-Krasteva T.S., Pashova S.B., Angelova M.B. Copper stress and filamentous fungus *Humicola lutea* 103 – ultrastructural changes and activities of key metabolic enzymes // Can. J. Microbiol. 2012. V. 58. № 12. P. 1335–1343.
5. Lelong A., Jolley D.F., Soudant P., Hegaret H. Impact of copper exposure on *Pseudonitzschia spp.* physiology and domoic acid production // Aquat. Toxicol. 2012. V. 118–119. P. 37–47.
6. Чернов И.Ю., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В. Проблемы и перспективы изучения биоразнообразия почв // Почвы в биосфере и жизни человека: монография. М.: ФГБОУ МГУЛ, 2012. С. 35–69.
7. Горностаева Е.А., Домрачева Л.И. Влияние ионов никеля и меди на цианобактерии и цианобактериальные комплексы // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Материалы II Международной научно-практической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения профессора Эмилии Адриановны Штиной, 19–23 октября 2015 г. Киров: Вятская ГСХА, 2015. С. 87–92.
8. Fan J., Ho L., Hobson P., Brookes J. Evaluation the effectiveness of copper sulfate, chlorine, potassium permanganate, hydrogenate peroxide and ozone on cyanobacterial cell integrity // Water Res. 2013. V. 47. № 14. P. 5153–5164.
9. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Использование водорослей для биоконтроля состояния почвы при её химическом загрязнении // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 294–299.

10. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.

11. Горностаева Е.А. Влияние ионов меди и никеля на почвенные цианобактерии и цианобактериальные сообщества: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2015. 26 с.

## References

1. Ermakov A.A., Karpova E.A., Malysheva A. T., Mikhaylova Yu.I., Ryzhova I.N., Sidorenkova N. K. Evaluation of aerial technogenic load of heavy metals on agricultural land in Moscow Region // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015. № 4. P. 77–83. (in Russian)

2. Levin S. V., Guzev V. S., Aseeva I. V., Babyeva I. P., Marfenina O. E., Umarov M. M. Heavy metals as a factor of anthropogenic impact on soil microbiota / *Mikroorganizmy i okhrana pochv*. M.: Izd-vo MGU. P. 5–14. (in Russian)

3. Fokina A.I., Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.I., Gornostaeva E.A., Ogorodnikova S.Yu. Heavy metals as a factor of microorganisms metabolism changes (review) // *Teoreticheskaya i prikladnaya ecologia*. 2015. № 2. P. 5–18. (in Russian)

4. Krumova E.T., Stoitsova S.R., Paunova-Krasteva T.S., Pashova S.B., Angelova M.B. Copper stress and filamentous fungus *Humicola lutea* 103 – ultrastructural changes and activities of key metabolic enzymes // *Can. J. Microbiol.* 2012. V. 58. № 12. P. 1335–1343.

5. Lelong A., Jolley D.F., Soudant P., Hegaret H. Impact of copper exposure on *Pseudo-nitzschia* spp. physi-

ology and domoic acid production // *Aquat. Toxicol.* 2012. V. 118–119. P. 37–47.

6. Chernov I. Y., Dobrovolskaya T.G., Lysak L.V. Problems and perspectives of soil biodiversity study // *Pochvy v biosfere i zhizni cheloveka: monografiya*. Moskva: MGUL, 2012. P. 35–69. (in Russian)

7. Gornostaeva E. A., Domracheva L. I. The Influence of ions of cadmium and copper on cyanobacteria and cyanobacterial complexes // *Vodorosli i tsianobakterii v prirodnykh i seleskokhozyastvennykh ekosistemakh: Materialy II nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya professora Emilii Adrianovny Shtinoy, 19–23 oktyabrya 2015 g.* Kirov: Vyatskya GSKHA, 2015. P. 87–92. (in Russian)

8. Fan J., Ho L., Hobson P., Brookes J. Evaluation of the effectiveness of copper sulfate, chlorine, potassium permanganate, hydrogen peroxide and ozone on cyanobacterial cell integrity // *Water Res.* 2013. V. 47. №. 14. P. 5153–5164.

9. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Algae as a means of biocontrol over the state of chemically polluted soil // *Vodorosli: taksonomiya, ecologiya, ispolzovaniye v monitoringe*. Yekaterinburg: UrO RAN, 2011. P. 294–299. (in Russian)

10. Domracheva L.I. «Flowring» of the soil and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian)

11. Gornostaeva E.A. Influence of copper and nickel ions on soil cyanobacteria and cyanobacterial associations: Abstr. diss. ...kand. of Biology. Moskva: MGU im. M.V. Lomonosova. 2015. 26 p. (in Russian)

## Опыт изучения пирогенной динамики экосистем в таёжных и гольцовых ландшафтах Приамурья

© 2016. С. В. Осипов<sup>1,2</sup>, д.б.н., доцент, зав. лабораторией,  
С. М. Краснопеев<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., с.н.с., зав. лабораторией,  
<sup>1</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,  
690041, Россия, г. Владивосток, ул. Радио, д. 7,  
<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет,  
690950, Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8,  
e-mail: sv-osipov@yandex.ru, sergeikr@tig.dvo.ru

Задача статьи – рассмотреть комплекс подходов и методов, который позволил получить целостную картину пирогенной динамики экосистем на территории природного заповедника «Буреинский» (горные таёжные и гольцовые ландшафты). Использованы следующие материалы, подходы и методы выявления динамических связей экосистем. В процессе детально-маршрутных исследований выполнены полные геоботанические и ландшафтные описания пробных площадей. Особое внимание уделено признакам пирогенной нарушенности: огневым подпалинам на живых деревьях, сухостое и валеже, углям в почве. Важную роль сыграл метод, который В.Д. Александрова назвала «установление сукцессионных (временных) связей на основании изучения пространственных (экологических и фитоценологических) рядов сообществ». В процессе классификации и ординации растительности выполнен разноплановый анализ растительного покрова и ландшафтов, для каждого класса растительности выявлены экологическая ниша и динамический статус. Важнейшими источниками информации о пожарах послужили наборы топографических карт и космических снимков разного времени, включённые в геоинформационную систему. Составлена карта гарей последнего столетия. Особая роль принадлежит универсальной геоботанической карте, подготовленной в масштабе 1 : 200000. Она позволила получить более целостную картину динамики растительного покрова. В результате для рассматриваемой территории выявлены основные пирогенные серии растительности: катастрофические смены под воздействием пожаров и послепожарные восстановительные (демутационные) сукцессии.

**Ключевые слова:** гарь, послепожарный, катастрофическая смена, дигрессия, экологическая сукцессия, бореальная растительность.

## Experience of investigation of ecosystem pyrogenic dynamics on the taiga and bare alpine landscapes of the Amur River region

S. V. Osipov<sup>1,2</sup>, S. M. Krasnopeyev<sup>1,2</sup>,  
<sup>1</sup>Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
7 Radio st., Vladivostok, Russia, 690041,  
<sup>2</sup>Far Eastern Federal University,  
8 Suhanova st., Vladivostok, Russia, 690950,  
e-mail: sv-osipov@yandex.ru, sergeikr@tig.dvo.ru

The aim of the paper is to consider a complex of approaches and methods. These approaches and methods allowed to obtain a holistic picture of pyrogenic dynamics of ecosystems on the territory of the Bureya natural reserve (mountain taiga and golets (alpine) landscapes). Special materials, approaches, and methods of identification of dynamic relationships of ecosystems were used. Geobotanical and landscape relevés of sample plots were made. Special attention was paid to the signs of fire disturbance: fire markings on living trees, deadwood and fallen, and coals in soils. The method of «the establishment of the succession (temporal) relations based on the study of spatial (ecological and phytocenotic) rows of communities» offered by V.D. Aleksandrova has played an important role. In the process of classification and ordination of vegetation, diverse analysis of vegetation cover and landscapes was made, an ecological niche and a dynamic status for each vegetation class was revealed. Sets of topographic maps and satellite images of different time incorporated into the geographic information system are important sources of information about fires. The map of burnt areas of the last century was elaborated. A special role belongs to the universal geobotanical map prepared at a scale of 1 : 200000, the map allowed us to obtain a more completed picture of dynamics of vegetation cover. As a result, main pyrogenic series of vegetation are revealed: both catastrophic changes under fire impact and after-fire demutation successions.

**Keywords:** fire-site, post-fire, catastrophic change, digression, ecological succession, boreal vegetation.

Пожары являются одним из мощных и широко распространённых факторов, которые оказывают существенное и разноплановое влияние на функционирование и развитие многих типов ландшафтов. В природных заповедниках и национальных парках самых разных регионов изучение пирогенной динамики популяций, биоценозов и экосистем – важнейшее направление исследований. В исследованиях бореальных лесов изучение пирогенной динамики также остаётся одним из самых актуальных вопросов.

В основе данной статьи лежат исследования в горных таёжных и гольцовых ландшафтах природного заповедника «Буреинский», его охранной зоны и окружающей территории. Ранее для этого района охарактеризованы основные сукцессионные серии [1, 2]. Задача настоящей статьи – акцентировать внимание на том комплексе подходов и методов, который позволил получить целостную картину пирогенной динамики экосистем на территории Буреинского заповедника.

### Физико-географические особенности района исследований

Площадь природного заповедника «Буреинский» и его охранной зоны составляет 4117 км<sup>2</sup> [3]. Эта территория представляет собой складчато-глыбовые среднегорья с участием высокогорий и образована плотными осадочными породами разного возраста и разной степени метаморфизма, крупными гранитными интрузивами и липаритовыми эффузивами мелового возраста [4]. Наименьшая и наибольшая высотные отметки равны 555 и 2192 м над уровнем моря.

Формирование климата этой части региона происходит под влиянием муссонных процессов и западных и юго-западных циклонов, поступающих сюда из Прибайкалья и Монголии [5]. Из-за холодной, сухой и солнечной зимы, прохладного и влажного лета эта территория, несмотря на довольно южные широты, получает относительно мало тепла. Климат характеризуется весьма высокой континентальностью, однако степень континентальности сильно изменяется по сезонам года. Две ближайшие метеостанции – Софийский прииск (22 км на запад) и Иппата (13 км на юго-запад) – характеризуются следующими значениями климатических параметров: средняя годовая температура воздуха – -7,5 и -4,6 °С, средняя температура воздуха самого

холодного месяца – января – -33,3 и -27,1 °С, средняя температура воздуха самого тёплого месяца – июля – 15,1 и 16,2 °С, атмосферные осадки – 722 и 702 мм/год [5].

В растительном покрове выражены три высотных пояса (зоны). Бореально-лесной пояс протянулся от наименьших высот до 1400 м над ур. моря, состоит из двух подпоясов: нижнего – таёжных еловых и лиственничных лесов, и верхнего – подгольцовых еловых и лиственничных лесов (граница между ними проходит на высоте 800–1000 м над ур. моря). Подгольцовый пояс имеет относительно небольшую вертикальную протяженность – от 1400 до 1600 м над ур. моря, также состоит из двух подпоясов: нижнего – подгольцовых лиственничных и еловых редколесий, и верхнего – кедровостланичников (граница между ними проходит на высоте 1500 м над ур. моря). Тундровый пояс охватывает территории выше 1600 м над ур. моря [1].

Антропогенное воздействие на экосистемы рассматриваемой территории выражено последние полтора века, прежде всего в виде значительного числа лесных пожаров, а также использования биологических ресурсов (охота, рыбалка, локальная рубка леса). В непосредственной близости от заповедника периодически ведётся добыча россыпного золота.

### Подходы и методы изучения пирогенной динамики экосистем

В настоящем исследовании использованы следующие материалы, подходы и методы выявления динамических связей экосистем.

В процессе детально-маршрутных исследований выполнены полные геоботанические и ландшафтные описания пробных площадей, организованных в трансекты (эколого-топографические профили). Особое внимание при этом уделено признакам пирогенной нарушенности: огневым подпалинам на живых деревьях, сухостое и валеже, углям в почве. Важные источники информации о лесных пожарах – возраст огневых подпалин на живых деревьях и возраст послепожарного древостоя. Послепожарные приросты кустарников и кустарничков позволили определять время прохождения огня не только в лесах и редколесьях, но и в кустарниковых зарослях, тундрах, болотах.

Важную роль в изучении пирогенной динамики экосистем сыграл метод, который Ф. Е. Clements [6] назвал «by inference», а В. Д. Александрова [7] – «установление сук-

цессионных (временных) связей на основании изучения пространственных (экологических и фитоценологических) рядов сообществ». Заключается он в том, что среди существующего на рассматриваемой территории разнообразия сообществ выявляются те, которые можно рассматривать как звенья одной сукцессионной серии. Это косвенный метод. Отнесение сообществ к одной серии обосновывается путём разнопланового анализа сообществ, экосистем и ландшафта в целом. Трудности таких построений очевидны, что отмечает большинство исследователей. Но и значительная роль этого метода не вызывает сомнений. По этому поводу ясно высказалась В. Д. Александрова [7, с. 326]: «Без преувеличения можно сказать, что всё огромное количество сведений о закономерности смен растительных сообществ, которыми мы располагаем для самых разнообразных растительных формаций, было получено преимущественно путём косвенных методов и главным образом путём установления сукцессионных связей на основании изучения пространственных (экологических и фитоценологических) рядов сообществ». В данной работе этот метод использован не столько для широких сравнений, сколько для выявления динамических рядов сообществ на максимально сходных участках.

На основе этого метода предложен методический приём, который делает акцент на сравнение сообществ на максимально сходных по экологическим условиям соседних участках [2]. В этом методическом приёме для обоснования сукцессионных связей использован случай, когда часть однородного по биогеоценологическим характеристикам участка нарушается под воздействием какого-либо фактора (пожара, вырубки, сильного ветра и т. д.). В результате ранее однородный участок оказывается разделённым на две части, которые представляют собой разные стадии одной сукцессионной серии. Расположение участков по соседству, на месте ранее единого биогеоценоза, определяет следующие немаловажные моменты: (1) единое биотическое окружение, обуславливающее единый поток семян, спор и других диаспор растений, что весьма важно на всех этапах сукцессий, и (2) единый мезоклимат, обуславливающий максимально сходный климатический фон. Особенно важны эти моменты в условиях неоднородных горных территорий, где каждый речной бассейн имеет свои особенности состава растительности, метеорологических процессов и других явлений. Этот приём использован как при выполнении

геоботанических описаний в маршрутах, так и при закладке постоянных пробных площадей.

Целесообразно подчеркнуть ту большую роль, которую сыграли классификация и ординация растительности в изучении динамики растительности и экосистем. Ведь в процессе классификации и ординации выполняется разноплановый анализ растительности и её местообитания, и для каждого класса растительности обязательно выявляется его экологическая ниша и динамический статус. При этом динамический статус класса в целом, как правило, довольно ясно определён, хотя для некоторых пробных площадей в этом же классе динамический статус не очевиден. Для отражения динамического статуса в одном аспекте различаются коренные, условно коренные и производные, в другом – климаксовые и серийные растительность и экосистемы. В сукцессионной серии различаются ранне-, средне- и поздне-сукцессионная стадии.

Создание геоинформационной системы – важная составляющая в изучении динамики экосистем. Геоинформационная система выполнена в среде ArcGIS. Важнейшими источниками информации о пожарах послужили наборы топографических карт и космических снимков разного времени. Некоторые контуры гарей, показанные на топографических картах 1960–1970-х гг. (масштабы 1 : 100000, 1 : 200000 и другие), в настоящее время по-прежнему хорошо опознаются на местности и на космических снимках, другие распознать нелегко. Но каждый раз при целенаправленном натурном изучении признаков старых гарей поражает точность такой информации на топографических картах этого региона. Сформированный набор слоёв топографических карт и космических снимков разного времени в единой системе географических координат позволил определить контуры и примерный возраст гарей (на основе дат составления топографических карт и выполнения космической фотосъёмки).

Особая роль принадлежит универсальной геоботанической карте, подготовленной в масштабе 1 : 200000 [1]. Не только сведения о динамике растительного покрова оказали большое влияние на разработку этой карты, но и процесс картографирования позволил получить более целостную картину динамики растительного покрова: основные закономерности пирогенной динамики – катастрофические смены в результате пожаров и послепожарные восстановительные сукцессии – приведены в систему на основе единиц легенды карты.

Данное исследование пирогенной динамики экосистем во многом основано на изучении растительного покрова. Однако А. G. Tansley, обосновывая понятие «экосистема», и многие другие экологи подчеркнули особую значимость растительности в экосистемах. Так, V. E. Schelford [8, p. 6] писал: «The dominants of terrestrial communities are commonly plants and occasionally animals». Эти представления позволяют говорить о пирогенной динамике не только растительности, но и экосистем в целом.

### Результаты

Главным фактором нарушения экосистем на территории Буреинского заповедника, одновременно сильным и охватывающим большие площади, несомненно, являются пожары. Прямые признаки пожаров (огневые подпалы на живых стволах и сухостое, обгоревшие пни и валёжины) свидетельствуют о том, что на протяжении XX века обширные территории бореально-лесного пояса заповедника испытали воздействие огня. Косвенные признаки (молодость древостоев большинства лесных массивов, разновозрастность многих древостоев) подтверждают это. Кроме этого, нередко встречаются участки, пройденные сильным пожаром два-три раза (на что указывают разновозрастные подпалы на живых стволах и хорошо выраженные поколения древостоя).

Выше границы леса и зарослей кедрового стланика признаки воздействия огня не столь заметны, однако и на многих вершинах есть явные следы пожаров последних десятилетий. Кроме этого, знакомство с молодыми гарями свидетельствует о том, что лесные пожары легко проникают в горные тундры ближайших вершин, и некоторые возгорания от гроз происходят выше границы леса.

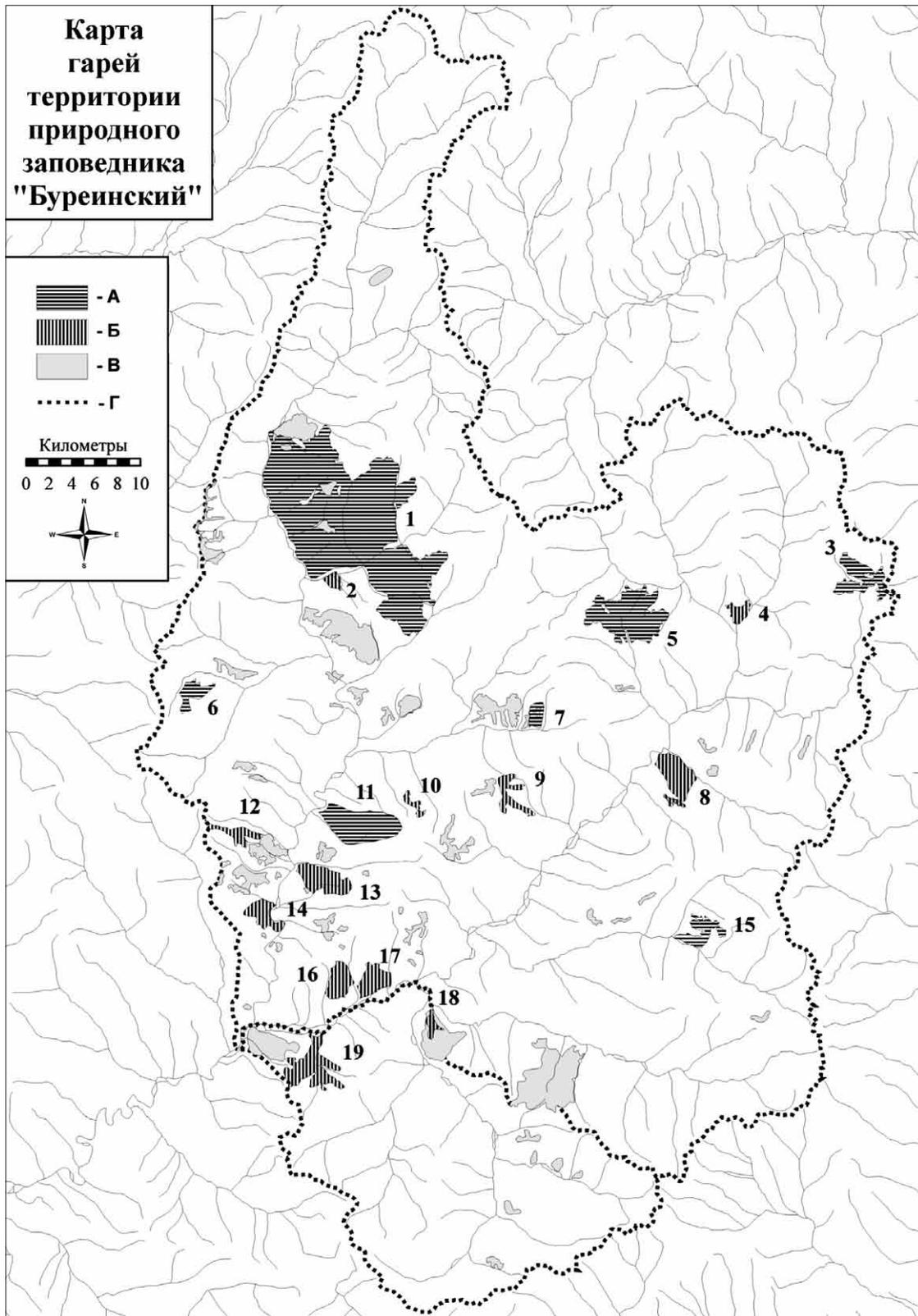
Молнии являются нередким природным фактором, вызывающим пожары в данной части региона. Однако более обычны антропогенные пожары. В частности, В. Б. Сочава [9] отметил широкое распространение гарей в бассейне Лево́й Буреи и указал, что леса выжигаются сознательно для расширения кормовой базы изюбря и сохотого (что вполне обычно и в других регионах).

На основе космических снимков, топографических карт и натурных исследований составлена карта гарей последнего столетия (рис. 1). На ней отражены только результаты сильных (верховых) пожаров. Сроки образования гарей определены с разной степе-

нью точности. Гари за период 1996–2010 гг. выявлены полно (их площадь 193,96 км<sup>2</sup>), 1962–1995 гг. – довольно полно (58,19 км<sup>2</sup>), с начала 1900-х до 1962 г. – частично (их площадь 120,02 км<sup>2</sup>).

Нельзя не затронуть вопрос о динамическом статусе основных лесных формаций рассматриваемой территории – еловых (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.) и лиственничных (*Larix cajanderi* Mayr) лесов и редколесий. Еловые леса и редколесья представлены коренными сообществами. В настоящее время обширные массивы ельников в этой части региона довольно редки. В контурах коренных ельников присутствуют и коренные лиственничники, которые занимают неблагоприятные для ели местообитания (важнейшими лимитирующими факторами в распределении ельников являются многолетняя мерзлота (что неоднократно отмечалось в литературе) и экстремальные зимние температуры). Изучение современного распределения аянской ели и аянскоельников, анализ лесорастительных условий свидетельствуют о том, что в бореально-лесном поясе рассматриваемой территории большинство местообитаний вполне охватываются экологическим ареалом ели и ельников. Пессимальными или вовсе неприемлемыми для ельников являются местообитания с близко залегающей мерзлотой на северных склонах, пологих шлейфах склонов или надпойменных террасах. Лиственничные леса и редколесья представлены и коренными, и производными сообществами. Причём среди производных есть лиственничники, образовавшиеся на месте ельников, а есть – на месте лиственничников (на Карте растительности бассейна Амура [10] фоновыми лесами для территории заповедника являются лиственничные, производные на месте пихтово-еловых и коренных лиственничных и елово-лиственничных лесов). В большинстве случаев контуры лиственничных лесов и редколесий имеют более или менее выраженные признаки послепожарного происхождения. Для многих из них происхождение на месте ельников не вызывает сомнений (уцелевшие фрагменты еловых сообществ, еловый подрост в лиственничных лесах и редколесьях, возможность проследить все стадии восстановления ельников на определённом типе местообитания в пределах ограниченной территории).

В процессе проведённых исследований выявлено немало фрагментов динамических серий до составления карты растительного



**Рис. 1.** Карта гарей территории природного заповедника «Буреинский».

Время образования гарей: А – 1996–2010 гг., Б – 1962–1995 гг., В – до 1962 г. Г – границы заповедника и его охранной зоны. Цифрами обозначены гары с 1962 по 2010 г.: 1 – 1998 г. (горело до конца вегетационного сезона), 2 – 1962 г. – конец 1972 г., 3 – 2001 г. (июнь), 4 – конец 1992 г. или начало 1993 г., 5 – октябрь 1995 г. – июнь 2001 г., 6 – октябрь 1995 г. – июнь 2001 г., 7 – июль 2007 г., 8 – февраль 1973 г. – октябрь 1995 г., 9 – 1962 г. – октябрь 1995 г., 10 – февраль 1973 г. – октябрь 1995 г., 11 – июль 2007 г., 12 – 1962 г. – октябрь 1995 г., 13 – 1962 г. – октябрь 1995 г., 14 – 1962 г. – октябрь 1995 г., 15 – октябрь 1995 г. – июнь 2001 г., 16 – февраль 1973 г. – октябрь 1995 г., 17 – февраль 1973 г. – октябрь 1995 г., 18 – февраль 1973 г. – октябрь 1995 г., 19 – 1993 или начало 1994 г.



**Рис. 2.** Схема пирогенной динамики растительного покрова бореально-лесного пояса. Цифры соответствуют единицам легенды карты растительного покрова масштаба 1 : 200000 [1]. Смены: 1 – пирогенные катастрофические, 2 – пирогенные (послепожарные) демулационные (восстановительные)

покрова. Например, в бореально-лесном поясе на крутых склонах южной, западной и восточной экспозиции прослеживается восстановительная серия от образовавшихся после пожара каменистых россыпей до климаксового ельника. Однако значительно более целостную картину пирогенной динамики удалось получить в процессе разработки карты растительного покрова масштаба 1 : 200000. Легенда карты состоит из классов трёх уровней. В основе структуры легенды лежат такие закономерности растительного покрова, как зональность (поясность), положение в ландшафте и динамические серии. Классы второго уровня представляют собой объединённые в динамические серии классы третьего уровня. На основе единиц легенды карты удалось вполне определённо наметить и катастрофические смены в результате по-

жаров, и послепожарные восстановительные (демулационные) сукцессии. На рисунке 2 показан фрагмент полученной картины – схема пирогенной динамики растительности и экосистем бореально-лесного пояса.

### Заклучение

Выявление параметров пирогенного воздействия в процессе полевых исследований, составление карты гарей, разноплановый экологический анализ ландшафта, установление сукцессионного статуса растительности в процессе её классификации и ординации, подготовка универсальной карты растительного покрова – это тот комплекс подходов и методов, который позволил получить целостную картину пирогенной динамики экосистем территории природного заповедника «Буреин-

ский». Удалось показать масштаб воздействия пожаров за последнее столетие и выявить основные закономерности пирогенной динамики: катастрофические смены в результате пожаров и послепожарные восстановительные (демутационные) сукцессии. Карта гарей и универсальная геоботаническая карта являются важной основой для мониторинга пирогенной динамики экосистем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-05-00677-а), Русского географического общества (проект РГО-РФФИ № 13-05-41280) и Президиума Дальневосточного отделения РАН (программа «Дальний Восток», проект 15-1-6-114).*

### Литература

1. Осипов С.В. Растительный покров природного заповедника «Буреинский» (горные таёжные и гольцовые ландшафты Приамурья). Владивосток: Дальнаука, 2012. 219 с.
2. Осипов С.В. Динамика растительного покрова таёжных и гольцовых ландшафтов в верховьях реки Бурея (дальневосточный сектор Азии) // Сибирский экологический журнал. 2012. № 3. С. 325–335.
3. Шлотгауэр С.Д., Воронов Б.А., Думикян А.Д., Антонов А.Л. Буреинский государственный природный заповедник // Вестник ДВО РАН. 2000. № 4. С. 45–54.
4. Красный Л.И. Геология региона Байкало-Амурской магистрали. М.: Недра, 1980. 159 с.
5. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток, Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
6. Clements F.E. Plant Succession and Indicators. New York: H.W. Wilson Co., 1928. 453 p.
7. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. Т. 3. М.-Л.: Наука, 1964. С. 300–447.
8. Shelford V.E. The Ecology of North America. University of Illinois Press, Urbana, 1963. 610 p.

9. Сочава В.Б. Растительный покров Буреинского хребта к северу от Дульниканского перевала // Амгунь-Селемджинская экспедиция Академии наук СССР. Ч. 1. Буреинский отряд. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. С. 109–242.

10. Сочава В.Б. (Ред.) Карта растительности бассейна Амура. Масштаб 1 : 2500000. М.: ГУГК, 1968. 1 л.

### References

1. Osipov S.V. Vegetation Cover of the Bureya Nature Reserve (Mountain Taiga and Golets (Alpine) Landscapes of the Amur River Region). Vladivostok: Dalnauka, 2012. 219 p. (in Russian)
2. Osipov S.V. Vegetation dynamics of taiga and alpine landscapes in the upper part of the Bureya River basin // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2012. Vol. 5. № 3. P. 235–243.
3. Shlotgauer S.D., Voronov B.A., Dumikyan A.D., Antonov A.L. Bureinskiy State Nature Reserve // Vestnic DVO RAN. 2000. № 4. P. 45–54. (in Russian)
4. Krasnyi L.I. Geology of the Baical-Amur railway region. Moscow: Nedra, 1980. 159 p. (in Russian)
5. Petrov E.S., Novorotskiy P.V., Lenshin V.T. Climate of the Khabarovskiy Kray and the Jewish Autonomous region. Vladivostok-Khabarovsk: Dalnauka, 2000. 174 p. (in Russian)
6. Clements F.E. Plant Succession and Indicators. New York: H.W. Wilson Co., 1928. 453 p.
7. Aleksandrova V.D. Study of successions // Polevaya geobotanyka. Vol. III. Moskva, Leningrad: Nauka, 1964. P. 300–447. (in Russian)
8. Shelford V.E. The Ecology of North America. University of Illinois Press, Urbana, 1963. 610 p.
9. Sochava V.B. Vegetation cover of the Bureya mountain ridge, to the North from the Dulnikan pass // Amgun-Selemdzhinskaya Expeditsiya Akademii Nauk USSR. Part 1. Leningrad: AN USSR, 1934. P. 109–242. (in Russian)
10. Sochava V.B. (Ed.) Vegetation map of the Amur River basin. Scale 1:2500000. Moskva: GUGK, 1968. 1 p. (in Russian).

## Наземные и водные эпифитные цианопрокариоты и водоросли и возможность их использования в оценке состояния окружающей среды

© 2016. И. Е. Дубовик, д.б.н., профессор,  
М. Ю. Шарипова, д.б.н., профессор,  
Башкирский государственный университет,  
400076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32,  
e-mail: dubovikie@mail.ru, Sharipovamy@mail.ru

В статье обсуждается возможность использования эпифитных цианопрокариот и водорослей для оценки состояния окружающей среды. Приведены результаты исследований эпифитов водных и наземных экосистем Южного Урала. Представлена таксономическая и экологическая характеристика эпифитов в речных экосистемах, в рекреационных и промышленных зонах городов, вдоль автомагистралей и на особо охраняемых природных территориях.

**Ключевые слова:** водоросли, цианопрокариоты, мониторинг, эпифиты.

## Terrestrial and aquatic cyanoprokaryota and epiphytic algae and the possibility of their using in the environmental assessment

I. E. Dubovik, M. Yu. Sharipova,  
Bashkir State University,  
32 Zaki Validi st., Ufa, Russia, 450076,  
e-mail: dubovikie@mail.ru, Sharipovamy@mail.ru

The article discusses the ability of using epiphytic algae and cyanoprokaryota for environmental assessment. The results of studies of epiphytes in aquatic and terrestrial ecosystems in the Southern Urals are considered. The taxonomic and ecological characteristics of epiphytes in river ecosystems and recreational and industrial areas of cities, along highways and in the territories of Protected Areas are represented. There were found 196 indicators of saprobity in water ecosystems. The saprobity indexes range from 1,1 to 2,14 in the studied rivers. Small mountain rivers (the Uzyan, the Sargaya, the Basu) and riverheads (the Belaya, the Ai) contain the purest water. Saprobity ratio is 1.1–1.4 and 1.52–1.7 respectively. Thus the water of the studied rivers belong to II and III purity classes. Epiphytic algae and cyanoprokaryots of industrial areas, along highways are characterised with a little depletion of species composition. But there are no significant changes in taxonomic structure restructuring, dominant complex as compared to the control. Thus the terrestrial epiphytic algae and cyanoprokaryots are inappropriate for bioindication use.

**Keywords:** algae, cyanoprokaryota, monitoring, epiphytes.

Цианопрокариоты и водоросли обладают высоким потенциалом диагностической информации. Быстрая реакция на изменение экологической ситуации, высокая чувствительность некоторых видов к различным токсикантам, а также способность их аккумулялировать делают эти организмы перспективными объектами для оценки уровней загрязнения. В связи с этим изучение возможности использования наземных эпифитных цианопрокариотно-водорослевых ценозов (ЦВЦ) в целях экологического мониторинга

не теряет актуальности. Многие исследователи отмечали уменьшение видового разнообразия цианопрокариот и водорослей при загрязнении воздуха. Так, например, при изучении влияния полиметаллического загрязнения на эпифитные ЦВЦ на загрязнённой территории выявлено 29 видов водорослей, а в фоновой зоне – 52 [1].

Некоторые исследователи отмечали довольно высокое видовое разнообразие эпифитных ЦВЦ в экотопах слабой степени нарушения, что, возможно, объясняется снижением

Таблица 1

Экологический спектр водорослей эпифитона изученных рек

Группы	Число таксонов	% от числа таксонов группы
Местообитания		
Планктонные	47	17,2
Бентосные	96	35,2
Эпифиты	102	37,3
Эвритоппные	28	10,3
Категории галобности		
Олигогалобы	207	94,5
Галофобы	20	9,1
Индифференты	148	67,6
Галофилы	39	17,8
Мезогалобы	12	5,5
Категории индикаторов рН		
Алкалифилы	86	48,9
Индифференты	73	41,5
Ацидофилы	17	9,6
Категории сапробности		
х	4	2,3
х-о	5	2,7
о	32	17,5
о-β	36	19,7
β	71	38,2
β-α, α-β, α	36	19,6

Условные обозначения: х – ксеносапробы; х-о – ксено-олигосапробы; о – олигосапробы; β – мезосапробы; α – мезосапробы.

роли типичных доминантов в водорослёвых обрастаниях [2].

Эпифитные цианопрокариоты и водоросли в водоёмах служат естественным биофильтром между водосбором и водоёмами. Виды ЦВЦ, особенно диатомовые, неподвижны или малоподвижны и поэтому отчётливо реагируют на комплекс физико-химических факторов водной среды. Это даёт возможность исследовать ответную реакцию ЦВЦ эпифитона на различные воздействия и использовать её для индикации антропогенного пресса на водные экосистемы [3 – 5]. Известно, что сообщества обрастаний отражают средний уровень гидрологического и гидрохимического режима, преобладающего в данном водоёме [6]. Нами исследована возможность использования эпифитных ЦВЦ для биомониторинга.

Исследования эпифитных ЦВЦ водоёмов на различных фитофорах проведены в реках Белая (в верхнем и среднем течении) и Ай, ряде малых рек Южного Урала, Зауралья и Предуралья. В ходе исследования была выявлена богатая в таксономическом отношении флора ЦВЦ водных эпифитов, включаю-

щая 6 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Цианопрокaryota, Xanthophyta, Euglenophyta и Chrysophyta. Наибольшим видовым богатством характеризовались диатомеи – 179 видов, составляющие 60% от общего количества видов. Порядки Raphales и Araphales доминировали по количеству видов: 143 (167 вместе с внутривидовыми таксонами) и 29 (40) соответственно. Ведущими родами среди диатомовых являлись *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Fragilaria*, *Pinnularia*, *Synedra*, *Achnanthes*, включающие соответственно 36 (44)\*, 26 (28), 19 (21), 11 (13), 10 (10), 9 (14), 6 (7) видов. Представители этого отдела доминировали в эпифитоне всех рек по количеству видов. Их доля составляла от 64 до 80%, за исключением рек степной (р. Таналык) и северо-востока лесостепной зоны (р. Ай). Соответственно доля других ведущих отделов водорослей – зелёных и цианопрокариот составляла в целом по рекам 19 и 12%. А для рек Таналык и Ай соответственно 30–33% и 12–21%.

Одним из факторов, лимитирующих развитие водорослей в водоёмах, является общая минерализация. Наиболее изученными в от-

\* Здесь и далее в скобках указано число видов вместе с разновидностями

ношении этого фактора являются диатомовые водоросли, часто используемые в качестве индикаторов. Положение на шкале галобности известно для 280 таксонов водорослей, почти все они, за исключением небольшой группы мезогалобов (6%), относятся к олигогалобам (табл. 1). Среди них доминируют индифференты, которые составляют 69%. Это характерно для континентальных водоёмов различных климатических зон. В основном это диатомовые из порядка Raphales (77%), на втором месте по числу таксонов находятся зелёные водоросли (10%). Водоросли других отделов в группе индифферентов представлены незначительно. Галофобы составляют самую малочисленную группу олигогалобов (10% от таксонов, для которых есть данные). Наиболее часто встречающимися являются *Tabellaria fenestrata*, а в озёрах также некоторые виды рода *Cosmarium*: *C. reniforme*, *C. humile*, *C. depressum*.

Среди индикаторов рН в эпифитоне преобладают индифференты (49%) и алкалофилы (42%). Ацидофилы представлены в основном видами пеннатных диатомей из родов *Tabellaria*, *Eunotia*, десмидиевыми из родов *Cosmarium*, *Closterium*. По биогеографии доминируют космополиты – 217 форм, бореальные – 77. Арктоальпийских форм значительно меньше – 19. По 193 формам данные по биогеографии отсутствуют (табл. 1).

Сравнение общего систематического списка цианопрокариот и водорослей эпифитона изученных водоёмов со списком организмов-индикаторов сапробности позволило выявить 196 индикаторных организмов. Это составило 38,7% от общего видового состава цианопрокариот и водорослей. Среди них преобладали β-мезосапробные формы. Олигосапробы и о-β-мезосапробы составляли 35%, ксеносапробы и олиго-ксеносапробы – 5,6%. 75%

всех индикаторных видов относились к диатомовым водорослям, которые также наиболее разнообразно представлены β-мезосапробными формами. Помимо диатомовых водорослей заметный вклад в состав индикаторных форм вносили цианопрокариоты и водоросли отдела Chlorophyta (23 и 18 видов соответственно).

Показатели наиболее чистых вод были выявлены в верхних участках рек. В исследованных реках индексы сапробности варьировали от 1,1 до 2,14 (табл. 2). Небольшие горные реки (Узян, Саргая, Басу) и верховья рек (Белая, Ай) содержат наиболее чистые воды. Коэффициенты сапробности 1,1–1,4 и 1,52–1,7 соответственно. Таким образом, воды изученных рек относятся ко II и III классам чистоты [7].

Наземные эпифитные ЦВЦ изучали в рекреационных и промышленных зонах городов Южного Предуралья, вдоль автомагистралей и на особо охраняемых природных территориях. Определяли видовой состав ЦВЦ, проводили его таксономический и экологический анализ. Рассматривали три уровня биоиндикации, которые обычно используются для альгомониторинга: организменный, популяционный, ценолитический [8]. Для изучения морфологии клеток водорослей использовали наиболее часто встречающихся представителей отдела Chlorophyta: *Desmococcus olivaceus*, *Trebouxia arboricola*, *Trentepohlia umbrina*. Нами не зафиксировано морфометрических и цитологических изменений клеток водорослей, обитающих в исследованных зонах.

Для индикационных целей на популяционном уровне проводили оценку состояния жизненной активности цианопрокариот и водорослей по регистрации интенсивности свечения хлорофилла с использованием люминесцентной микроскопии. Показано,

Таблица 2

Сапробиологическая характеристика исследованных рек

Река	Индекс сапробности	Степень сапробности	Класс чистоты воды
Белая	верховье	1,6	β-о
	г. Уфа	1,98	β
Ай	верховье	1,7	β-о
	п. Метели	2,1	β
Таналык	2,14	β	III
Узян	1,45	о-β	II
Саргая	1,4	о-β	II
Басу	1,1	о	II
Нугуш	1,56	β-о	III
Уршак	1,87	о-α	III
Усолка	1,83	о-α	III

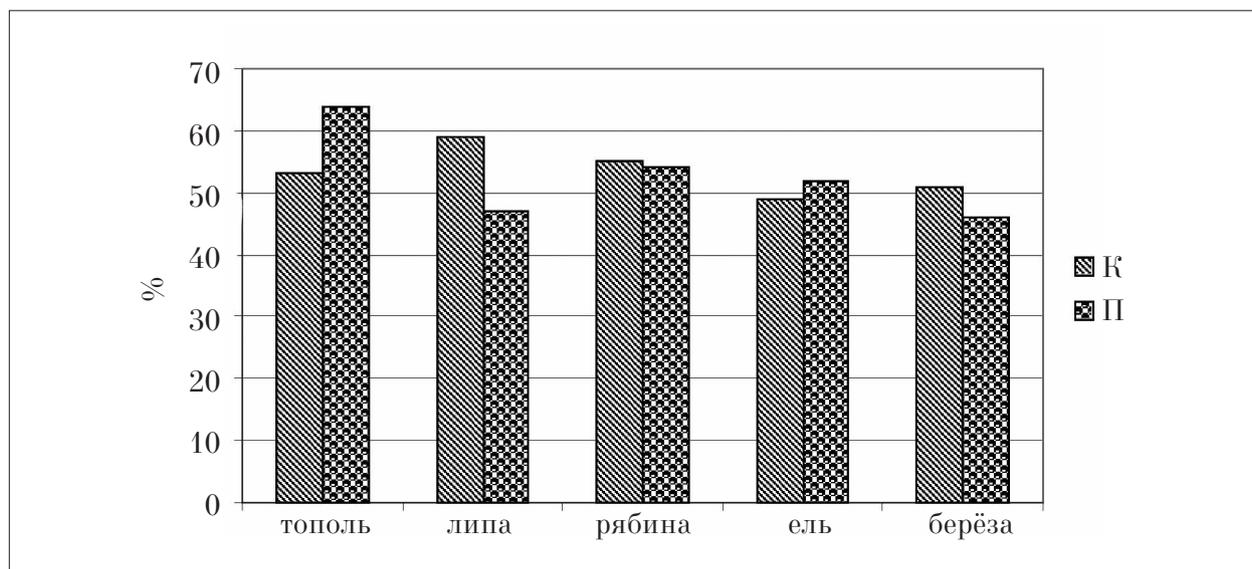


Рис. Доля (%) живых клеток эпифитных цианопрокариот и водорослей на древесных растениях исследованных зон (К – контроль, зона рекреации; П – промышленная зона)

что в эпифитных ЦВЦ всех исследованных участков преобладали живые (активно метаболизирующие) клетки (рис.). Также нами не зафиксированы морфометрические и цитологические изменения клеток цианопрокариот и водорослей сравниваемых зон.

В настоящее время таксономический список наземных эпифитных ЦВЦ включает 135 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот и водорослей, обитающих на коре деревьев. Ведущая роль принадлежит трём отделам: Chlorophyta (43,7% от общего числа видов), Cyanoprokaryota (31,4%) и Xanthophyta (14%), меньшее число видов в отделе Bacillariophyta (10,4%). Незначительно положение отдела Euglenophyta (0,8%).

Наибольшим числом таксонов представлены порядки Chlorococcales – 24 вида и разновидности, Oscillatoriales – 20, Nostocales – 13, Ulotrichales – 10, Chroococcales, Chlorosarcinales – по 7 видов. Из зелёных водорослей богатством видов отличались 2 семейства (Chlorococcaceae, Chlorellaceae), из цианопрокариот ведущая позиция наблюдалась у 4 семейств (Pseudanabaenaceae, Nostocaceae, Microcystaceae, Phormidiaceae), из жёлтозелёных – семейство Pleurochloridaceae.

Наземные эпифитные цианопрокариоты и водоросли по степени их приуроченности к определённому сезону можно разделить на следующие комплексы:

– виды, вегетирующие круглый год (*Desmococcus olivaceus*, *Trentepohlia umbrina*, *Trebouxia arboricola*, *Actinochloris sphaerica*, *Mychonastes homoshaera*, *Stichococcus minor*, *Tetracystis aggregata*);

– виды, господствующие в летний период (*Synechococcus elongatus*, *Aphanocapsa incerta*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Leptolyngbya frigida*, *Scytonema hofmanni*, *Nostoc calcicola*, *Borodinellopsis oleifera*, *Coccomyxa subglobosa f. subglobosa*, *Chlorhormidium nitens*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Bracteacoccus minor*, *Chlorella vulgaris f. vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*);

– виды, доминирующие в весенний период (*Synechocystis parvula*, *Synechococcus elongatus*, *Rhabdogloea smithii*, *Microcystis pulvereae f. minor*, *Leptolyngbya angustissima*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Chlorella vulgaris f. vulgaris*, *Chlorokybus atmophyticus*);

– виды, преобладающие в осенний период (*Aphanocapsa incerta*, *Microcystis pulvereae f. minor*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Scytonema hofmanni*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Trentepohlia annulata*, *Coccomyxa gloeobotrydiformis*);

– виды, преобладающие в зимний период (*Microcystis pulvereae f. minor*, *Chlorosarcinopsis minor*).

Распределение эпифитных цианопрокариот и водорослей по форофитам показало, что наибольшее разнообразие отмечено на стволах таких деревьев, как *Betula verrucosa* – 55 видовых и внутривидовых таксона (52% от общего числа обнаруженных видов), *Populus nigra* – 46 (44%), *Tilia cordata* – 40 (47%), *Picea obovata* – 38 (36%), *Sorbus aucuparia* – 31 (29%). Такое распределение видов возможно объяснить тем, что кора взрослых деревьев берёзы, тополя, липы более шершавая, глубоко растрескивающаяся. В щелях такой коры скапливается пыль, частицы почвы, растительные остатки, продукты постепенного разрушения самой коры [9].

Однако в эпифитных ЦВЦ промышленных зон, вдоль автомагистралей при незначительном обеднении видового состава, не обнаружено существенных изменений в перестройке таксономической структуры, доминантном комплексе по сравнению с контролем. Таким образом, наземные эпифитные ЦВЦ использовать для биоиндикации нецелесообразно.

### Литература

1. Прошкина Е.А. Влияние тяжёлых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Уфа: РИО БашГУ. 1997. 19 с.
2. Егорова И.Н. Эпифитная альгофлора Прибайкалья: видовое разнообразие и экологические особенности: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Улан-Удэ: Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений. 2006. 19 с.
3. Никулина В.Н. Опыт использования различных методов оценки степени загрязнения вод по альгофлоре // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Изд-во Зоологич. инст-та АН СССР, 1976. С. 38–58.
4. Cattaneo A., Methot, G., Pinel-Alloul B., Niyonsenga T.& Lapierre L. Epiphyte size and taxonomy as biological indicators of ecological and toxicological factors in Lake St.-Francois (Quebec) // Environmental Pollution. 1995. V. 87. P. 357–372.
5. O'Connell J.M., Reavie E.D., Smol J.P. Assemblent of water quality using epiphytic diatom assemblages on Cladophora from the St. Lawrence river (Canada) // Diatom research. 1997. V. 12. № 1. P. 55–70.
6. Комулайнен С.Ф. Формирование и функционирование фитоперифитона в реках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. 50 с.
7. Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.

8. Кабиров Р.Р. Альгоиндикация с использованием почвенных водорослей // Альгология. 1993. Т. 3. № 3. С. 73–83.

9. Reisser W. Algae living on trees // Life in Extreme Habitats and Astrobiology. 2004. V. 4. P. 389–395.

### References

1. Proshkina E.A. The Influence of heavy metals on the community of soil and epiphytic algae: Avtoref. diss. ... cand. biol. nauk. Ufa: RIO BashGU, 1997. 19 p. (in Russian).
2. Egorova I.N. Epiphytic algoflora of the Baikal region: species diversity and ecological features: Avtoref. diss. ... cand. biol. nauk. Ulan-Ude: Sib. In-t Fiziologii i Biohimii rasteniy, 2006. 19 p. (in Russian).
3. Nikulina V.N. Experience in the use of different methods of assessment of water pollution at Algoflora // Metodi biologicheskogo analiza presnih vod. L.: Izd-vo Zoologich. in-ta AN SSSR, 1976. C. 38–58 (in Russian).
4. Cattaneo A., Methot, G., Pinel-Alloul B., Niyonsenga T.& Lapierre L. Epiphyte size and taxonomy as biological indicators of ecological and toxicological factors in Lake St.-Francois (Quebec) // Environmental Pollution. 1995. V. 87. P. 357–372.
5. O'Connell J.M., Reavie E.D., Smol J.P. Assemblent of water quality using epiphytic diatom assemblages on Cladophora from the St. Lawrence river (Canada) // Diatom research. 1997. V. 12. № 1. P. 55–70.
6. Komulaynen S.F. The formation and functioning rivers phytoperiphyton. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyi tsentr RAN, 1999. 50 c. (in Russian).
7. Barinova S.S., Medvedeva L.A. Atlas of algae indicator saprobity (Russian Far East). Vladivostok: Dalnauka, 1996. 364 c. (in Russian).
8. Kabirov R.R. Algoindication with the using of soil algae // Algologia. 1993. T. 3. № 3. P. 73–83 (in Russian).
9. Reisser W. Algae living on trees // Life in Extreme Habitats and Astrobiology. 2004. V. 4. P. 389–395.

**Первый опыт оценки риска исчезновения дневных чешуекрылых  
(Lepidoptera, Rhopalocera) по системе критериев и категорий  
Международного союза охраны природы на территории  
Республики Коми**

© 2016. А. Г. Татаринов, к.б.н., в.н.с., О. И. Кулакова, к.б.н., н.с.,  
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
e-mail: andrei\_tatarinov@mail.ru; iduna@rambler.ru

В статье представлены результаты предварительной оценки риска исчезновения 108 видов дневных чешуекрылых на территории Республики Коми с использованием системы категорий и критериев МСОП. Установлено, что состояние численности популяций 81 вида вызывает наименьшие опасения (категория LC), для оценки 19 видов пока недостаточно данных (DD), шесть видов – *Parnassius corybas*, *Argiades glandon aquilo*, *Polyommatus eros taimyrensis*, *Euphydryas iduna*, *Oeneis magna*, *Pyrgus andromedae* – оценены как находящиеся в состоянии, близком к угрожаемому (NT), перламутровка *Clossiana tritonia* и южнотиманские популяционные группировки парусника *Driopa mnemosyne* отнесены к категории «Уязвимые», VU.

**Ключевые слова:** дневные чешуекрылые, Республика Коми, Красная книга, Международный союз охраны природы (МСОП), категории угрозы исчезновения, критерии оценки.

**The first experience of assessing extinction risk of Butterflies  
(Lepidoptera, Rhopalocera) on the system of criteria and categories  
of the International Union for Conservation of Nature on the territory  
of the Komi Republic**

A. G. Tatarinov, O. I. Kulakova,  
Institute of Biology  
of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,  
28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,  
e-mail: andrei\_tatarinov@mail.ru; iduna@rambler.ru

Butterflies are among the most profoundly studied Insects on the Komi Republic where 132 species of butterflies are found. By now almost complete data are obtained on the Butterfly species composition, dissemination and particulars of their ecology, as well as on the status and long-term dynamics of their populations. *Driopa mnemosyne*, *Parnassius corybas*, *Issoria eugenia*, *Clossiana tritonia*, *Euphydryas iduna* are considered rare or are threatened with extinction and included in the Red Book of the Komi Republic. 14 Butterfly species are included in the Application of the Red Book.

In order to unify approaches to composing national and regional Red Books the IUCN Species Survival Commission has developed a system of categories based on the comprehensive assessment of rarity of biological objects using standard qualitative and quantitative criteria of IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1.

This article outlines the results of preliminary assessment of extinction risk of 108 Butterfly species according to the IUCN system of categories and criteria. It is established that the population state of 81 species is of least concern (category LC). For assessing 19 species the data was insufficient (DD). 6 species: *Parnassius corybas*, *Argiades glandon aquilo*, *Polyommatus eros taimyrensis*, *Euphydryas iduna*, *Oeneis magna*, *Pyrgus andromedae* are assessed as near threatened (NT). The species *Clossiana tritonia* and local populations of *Driopa mnemosyne* from Timan Ridge are classified as Vulnerable (VU).

The assessment of Butterflies extinction risk contributes to the reliable list of rare species for the third edition of the Red Book of the Komi Republic.

**Keywords:** Butterflies, Komi Republic, Red Book, IUCN, Categories and Criteria.

Дневные, или булавоусые чешуекрылые – многочисленная группа насекомых, объединяющая около 18000 видов [1], распространённых от экваториальных лесов до арктических тундр на севере, полупустынь и пустынь Патагонии, Южной Африки, Австралии в Южном полушарии. Они являются важным компонентом большинства наземных биогеоценозов, выполняя функции опылителей цветковых растений и промежуточного звена в трофических цепях. Благодаря короткому жизненному циклу, трофической специализации гусениц и открыто живущей крылатой стадии имаго, дневные чешуекрылые быстро реагируют на изменение условий окружающей среды колебанием границ видовых ареалов, численности популяций, структуры фаун и населения. Это обуславливает их высокие биоиндикационные свойства и возможность использования в экологическом мониторинге [2, 3]. В результате антропогенного преобразования природных ландшафтов и сообществ многие виды дневных чешуекрылых в настоящее время стали редкими или оказались на грани исчезновения, поэтому включены в большинство национальных и региональных Красных книг (далее КК). В основном списке КК Российской Федерации [4] насчитывается 19 видов, еще 33 вида внесены в «Аннотированный перечень таксонов и популяций животных, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде» (Приложение 3).

Первое издание КК Республики Коми [5] содержало девять видов дневных чешуекрылых из трёх семейств. Категория 1 (E) – «находящиеся под угрозой исчезновения» была присвоена трём представителям семейства Парусники (Papilionidae): *Papilio machaon* (L.), *Parnassius phoebus* (Fabr.), *Driopa mnemosyne* (L.) (см. цв. вкладку). К категории 3 (R) – «редкие» были отнесены ленточник *Limenitis populi* (L.) (см. цв. вкладку), адмирал *Vanessa atalanta* (L.), перламутровки *Issoria eugenia* (Ev.) (см. цв. вкладку), *Argynnis paphia* (L.) из семейства Нимфалиды (Nymphalidae), чернушки *Erebia discoidalis* (Krb.), *E. fasciata* (Butl.) из Сатириды (Satyridae).

Мероприятия по ведению КК Республики Коми в течение следующего десятилетия позволили существенно скорректировать состав, статус редкости и уязвимости охраняемых видов дневных чешуекрылых. Во 2-е издание [6] было включено пять видов из двух семейств: парусник *Driopa mnemosyne* (L.), категория 2 (V) – «сокращающиеся в численности»;

парусник *Parnassius phoebus* (Fabr.), перламутровки *Issoria eugenia* (Ev.), *Clossiana tritonia* (Böb.), шашечница *Euphydryas iduna* (Dalm.), категория 3 (R) – «редкие». Еще 14 видов вошло в Приложение 1 «Перечень (Список) объектов растительного и животного мира, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде и рекомендуемых для бионадзора»: хвостonosец *Papilio machaon* (L.), желтушка *Colias hecla* Lfbv., голубянки *Agriades glandon* (Prun.), *Polyommatus eros* (Osch.), ленточник *Limenitis populi* (L.), пеструшка *Neptis rivularis* (Scop.), перламутровки *Clossiana polaris*, (Bsd.), *C. improba* (Butl.), *C. chariclea* (Schn.), *Argynnis paphia* (L.), чернушки *Erebia jeniseiensis* Tryb., *E. fasciata* (Butl.), *E. discoidalis* (Krb.), толстоголовки *Pyrgus andromedae* (Wall.).

В большинстве региональных КК, в том числе и Республики Коми, статус редкости и уязвимости объектов (видов, подвидов, популяций) определялся на основе категорий КК РСФСР [7] и Российской Федерации [4], часто модифицированных и дополненных новыми. В свою очередь, данная классификация базировалась на шкале категорий, разработанной Комиссией по выживанию видов Международного союза охраны природы (МСОП) и использовавшейся при составлении Красных списков в период с 1966-го по 1994 г. Главный её недостаток – превалирование экспертной оценки степени редкости, которая даже у высококвалифицированного специалиста носит субъективный характер. Поэтому понятие «редкий» для одного и того же объекта в региональных КК может существенно различаться.

Для унификации подходов к составлению и ведению национальных и региональных КК по просьбе 1-го Всемирного конгресса по охране окружающей среды (Монреаль, 1996 г.) Комиссия по охране видов МСОП разработала новую систему категорий, основанную на комплексной оценке редкости объектов по стандартным качественным и количественным критериям. Начиная с января 2001 г. при оценках объектов по критериям данной системы используется последняя принятая её версия с обязательным указанием номера и года издания – Версия 3.1 МСОП 2001 г. (IUCN, 2001) [8].

В настоящее время в Российской Федерации запущен процесс инвентаризации редких объектов с использованием системы категорий и критериев МСОП, который должен лечь в основу подготовки новых изданий национальной и региональных КК.

А. Г. ТАТАРИНОВ, О. И. КУЛАКОВА  
"ПЕРВЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ РИСКА ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ДНЕВНЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ  
(LEPIDOPTERA, RHORALOCERA) ПО СИСТЕМЕ КРИТЕРИЕВ И КАТЕГОРИЙ  
МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА ОХРАНЫ ПРИРОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ  
РЕСПУБЛИКИ КОМИ " (С. 56)



*Polyommatus icarus*



*Erebia ligea*



*Limenitis populi*



*Issoria eugenia*



*Parnassius corybas*



*Driopa mnemosyne*

Несомненно, это коснется и КК Республики Коми, 3-я редакция которой запланирована на 2018–2019 гг.

Дневные чешуекрылые являются одной из наиболее полно изученных групп беспозвоночных на территории республики. В настоящее время практически полностью установлен состав, выявлены распространение и особенности экологии видов, получены данные о состоянии и многолетней динамике численности популяций. Это позволяет уже на данном этапе представить первую оценку риска исчезновения видов дневных чешуекрылых в Республике Коми по системе категорий и критериев МСОП, провести ревизию утвержденного краснокнижного списка и наметить комплекс мероприятий, необходимых для адекватного составления нового, который войдет в 3-е издание региональной КК. Данной теме и посвящена эта статья.

### Материал и методика

Материалом для данного сообщения послужили полевые наблюдения и количественные учёты дневных чешуекрылых, которые

проводятся авторами на территории Республики Коми с 1990 г. За указанный период исследованиями были охвачены более 100 географических пунктов во всех административных районах республики.

Учёты численности дневных чешуекрылых проводились на линейных площадках, или трансектах [2, 9]. Для оценки состояния популяций отдельных видов применялась методика визуального маршрутного учёта и расчёта плотности видов, предложенная Н.Г. Челинцевым [10].

Структурная основа системы выделения категорий редкости видов по версии 3.1 МСОП, 2001 (IUCN, 2001) [8] представлена на рисунке. Как видно из схемы, прежде всего, производится деление на оцененные объекты и объекты категории NE (от англ. Not Evaluated), т. е. пока не оцененные по критериям. В свою очередь, оцененные объекты подразделяются на объекты, сведений по которым достаточно для прямой или косвенной оценки риска исчезновения, и объекты категории DD (Data Deficient), для которых такая информация отсутствует. Биология объектов категории DD может быть хорошо изучена, но

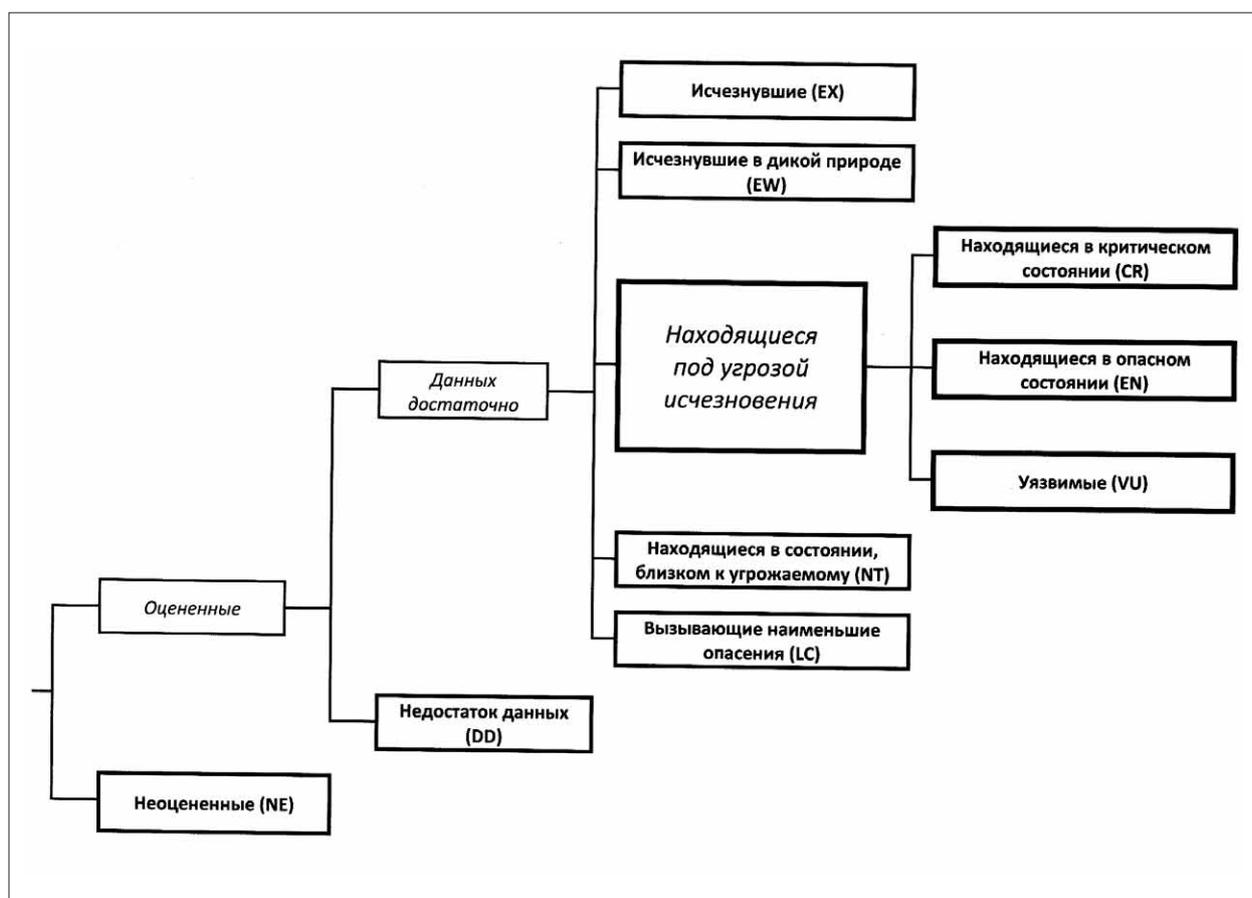


Рис. Структура категорий редкости объектов (видов, подвидов, популяций) по версии 3.1 МСОП 2001 г. (IUCN, 2001).

подходящие для оценки данные по их обилию и/или распространению пока недостаточны. Включение объектов в эту категорию показывает, что требуется больше информации, и признаётся, что будущие исследования могут сделать возможным их отнесение к одной из категорий угрозы исчезновения.

Объекты, по которым сведений достаточно для оценки риска исчезновения, делятся на категории «Исчезнувшие» – EX (Extinct) и «Исчезнувшие в дикой природе» – EW (Extinct in the Wild), «Находящиеся в состоянии близком к угрожаемому» – NT (Near Threatened), «Вызывающие наименьшие опасения» – LC (Least Concern), «Находящиеся в критическом состоянии» – CR (Critically Endangered), «Находящиеся в опасном состоянии» – EN (Endangered) и «Уязвимые» – VU (Vulnerable). Последние три категории объединяются в блок «Находящиеся под угрозой исчезновения» (Threatened), который является центральным в данной системе категорий редкости.

В связи с тем отметим, что в фауне дневных чешуекрылых Республики Коми нет исчезнувших объектов (категории EX, EW) и не выделено на данном этапе исследований объектов, находящихся в критическом (CR) или опасном (EN) состоянии, поэтому эти категории далее рассматриваться не будут.

Для отнесения видов к категориям блока «Находящиеся под угрозой исчезновения», в нашем случае это только категория «Уязвимые» (VU), разработана шкала количественных критериев. Учитывая эколого-географические особенности популяций, методы количественных учётов дневных чешуекрылых и природно-климатическую обстановку в республике, оценка видов проводилась по следующим критериям, разработанным для категории VU:

**Критерий В.** Ограничение ареала при наличии любых из следующих условий (1–2).

1. На основе экспертных оценок установлено, что область распространения составляет менее чем 20 000 км<sup>2</sup> при наличии, по крайней мере, любых двух из следующих условий (а–с):

а. она сильно фрагментирована или состоит не более чем из 10 локалитетов,

б. на основе наблюдений, заключений или прогнозов установлено продолжающееся снижение любых из следующих показателей:

(i) области распространения;

(ii) области обитания;

(iii) площади, протяжённости и/или качества среды обитания;

(iv) количества локалитетов или популяций;

(v) количества половозрелых особей.

с. Экстремальные флуктуации любых из следующих показателей:

(i) области распространения;

(ii) области обитания;

(iii) количества локалитетов или популяций;

(iv) количества половозрелых особей.

2. На основе экспертных оценок установлено, что область обитания составляет менее чем 2000 км<sup>2</sup> при наличии, по крайней мере, любых двух из следующих условий (а–с):

а. она сильно фрагментирована или состоит не более чем из 10 локалитетов,

б. на основе наблюдений, заключений или прогнозов установлено продолжающееся снижение любых из следующих показателей:

(i) области распространения;

(ii) области обитания;

(iii) площади, протяжённости и/или качества среды обитания;

(iv) количества локалитетов или популяций;

(v) количества половозрелых особей.

с. Экстремальные флуктуации любых из следующих показателей:

(i) области распространения;

(ii) области обитания;

(iii) количества локалитетов или популяций;

(iv) количества половозрелых особей.

**Критерий D.** Ограничение численности и/или ареала при наличии любых из следующих условий (1–2).

1. На основе экспертных оценок установлено, что численность составляет менее чем 1000 половозрелых особей.

2. Область обитания составляет обычно менее чем 20 км<sup>2</sup> или состоит обычно не более чем из 5 локалитетов, что способно под воздействием антропогенных или случайных факторов привести к критическому состоянию или даже исчезновению таксона за небольшой период времени в будущем.

Подчеркнём, что каждый вид должен быть оценен по всей шкале критериев, но определяющим обстоятельством является соответствие его состоянию хотя бы одного критерия, и не важно, что остальные критерии могут быть неподходящими для такой оценки.

## Результаты и обсуждение

К 2014 г. на территории Республики Коми было зарегистрировано 132 вида дневных чешуекрылых из шести семейств (табл.). Риск

Число видов и распределение по категориям редкости МСОП дневных чешуекрылых Республики Коми

Название семейства	Число видов	Категории				
		VU	NT	DD	LC	NE
Papilionidae	4	1*	1	–	1	1
Pieridae	17	–	–	1	11	5
Lycaenidae	24	–	2	4	15	3
Nymphalidae	44	1	1	5	28	9
Satyridae	32	–	1	7	18	6
Hesperiidae	11	–	1	2	8	–
Всего:	132	2	7	19	81	24

Примечание: \* – южнотиманские популяционные группировки парусника *Driopa mnemosyne*.

исчезновения был оценен для 108 видов. Не оценивались сезонные мигранты: белянка *Pontia daplidice*, желтушки *Colias hyale*, *C. crocea*, *C. myrmidone*, нимфалиды *Nymphalis polychloros*, *N. vaualbum*, *Vanessa atalanta*, *V. cardui*. К категории NE также были отнесены виды с неясным статусом обитания и новейшие вселенцы, активно распространяющиеся по антропогенным местообитаниям с формированием псевдопопуляций или временных популяционных группировок. Это хвостоносец *Iphiclides podalirius*, червонец *Lycaena dispar*, короткохвостка *Cupido argiades*, голубянка *Glaucopsyche alexis*, переливницы *Apatura ilia*, *A. iris*, нимфалиды *Nymphalis io*, *Clossiana dia*, сатириды *Lopinga achine*, *Coenonympha pamphilus*. Наконец, не оценивались по критериям МСОП перламутровка *Boloria napaea*, чернушки *Erebia edda*, *Erebia callias churkini*, *E. kifersteini zaitsevi*, находки которых на территории республики требуют завершения дополнительными материалами, а также сатирида с неясным таксономическим статусом *Oeneis patrushevae*.

Более двух десятков видов дневных чешуекрылых включено в состав фауны Республики Коми на основании редких и разрозненных в пространстве и времени находок. Это относится к беляночке *Leptidea juvernica*, желтушке *Colias tyche*, хвостатке *Thecla betulae*, червонцу *Lycaena phlaeas*, голубянкам *Cupido minimus*, *C. alcetas*, пеструшкам *Neptis rivularis*, *N. sappho*, перламутровкам *Fabriciana niobe*, *Clossiana selene*, пашечнице *Euphydryas ichnea*, сатиридам *Pararge aegeria*, *Lopinga deidamia*, *Lasiommata maera*, *Coenonympha hero*, *Erebia jeniseiensis*, *E. dabanensis*, *Oeneis ammon*, *Oe. polixenes*, толстоголовкам *Pyrghus alveus*, *P. serratulae*. Данных о состоянии и динамике численности этих видов пока совершенно недостаточно, чтобы оценить риск их исчезновения, поэтому они от-

несены к категории DD. Учитывая численность и современную топографию ареала, некоторым из них в дальнейшем может быть придан статус находящихся под угрозой исчезновения.

Опыт многолетних полевых наблюдений и учётов дает основание полагать, что состояние популяций более 60% видов региональной фауны дневных чешуекрылых вызывает наименьшие опасения. К категории LC относятся, прежде всего, стабильно многочисленными и широко распространёнными видами не только на территории республики, но и далеко за её пределами, например, боярышница *Aporia crataegi* (L.), огородные белянки *Pieris brassicae* (L.), *P. napi* (L.), *P. rapae* (L.), голубянки *Polyommatus icarus* (см. цв. вкладку), *P. semiargus*, нимфалиды *Nymphalis urticae*, *Polyommatus c-album*, перламутровки *Clossiana selene*, *C. euphrosyne* и многие другие. У некоторых видов в республике находится зона экологического оптимума [11], где они наиболее многочисленны и представлены во всех характерных местообитаниях. К этой группе относятся, в частности, гипоаркто-бореальные перламутровки *Clossiana eunomia* (Esp.), *C. freija* (Thnb.), *C. frigga* (Thnb.), *Boloria aquilonaris* (Stich.), голубянка *Plebeius optilete* (Knoch), желтушка *Colias palaeno* (L.), чернушка *Erebia disa* (Thnb.), сенница *Coenonympha tullia* (Müll.), широко лесные чернушки *Erebia ligea* (L.) (см. цв. вкладку), *Erebia euryale euryaloides* (Tngst.), буроглазка *Lasiommata petropolitana* (Fabr.), траурница *Nymphalis antiopa* (L.) и другие. На южных границах своих ареалов за пределами республики эти виды являются редкими, поэтому в некоторых субъектах Российской Федерации отнесены к числу охраняемых.

В последние десятилетия многие виды дневных чешуекрылых стабильно наращива-

ют численность и расширяют распространение на территории республики. Среди них есть и те, что ранее подлежали охране и бионадзору. Парусник *Papilio machaon* (L.), ленточник *Limenitis populi* (L.), перламутровка *Argynnis raphia* (L.) входили в основной список 1-го издания КК Республики Коми, во 2-м издании они были включены в перечень видов, требующих особого внимания и бионадзора. Многолетние наблюдения за динамикой численности и распространения позволяют вполне обоснованно сейчас относить их к категории LC. Расширение ареала и укрупнение популяционных группировок также зафиксировано для традиционно считавшихся редкими в республике хвостатки *Fixsenia pruni* (L.), перламутровки *Fabriciana adippe* ([Den. et Schiff.]), краеглазки *Pararge aegeria* (L.), толстоголовки *Ochloides sylvanus* (Esp.).

Перламутровка *Issoria eugenia* (Ev.) как редкий вид была включена в КК Республики Коми [5,6], Ямало-Ненецкого [12] и Ненецкого [13] автономных округов. Благодаря исследованиям последнего десятилетия в бассейне р. Кары и её притоков, рр. Малая и Большая Уса была выявлена крупная метапопуляция вида. Плотность её субпопуляций в долине р. Хальмер-Ю в 2004 г. составила 367 экз./км<sup>2</sup>, у хр. Оченырд в 2007 г. – 305 экз./км<sup>2</sup>, у слияния Б. и М. Усы в 2008 г. – 298 экз./км<sup>2</sup>, в среднем течении р. Силоваяха в 2012 г. – 244 экз./км<sup>2</sup>, что вполне сопоставимо с показателями для таких фоновых видов тундровых сообществ Полярного Урала, как перламутровки *Clossiana eunomia* (Esp.), *C. freija* (Thnb.), чернушка *Erebia disa* (Thnb.). Это даёт основание оценить состояние численности вида на территории Республики Коми как вызывающее наименьшие опасения (LC).

У сатириды *Oeneis magna* Gr. на территории республики известно только одно местонахождение в бассейне р. Кожим на границе Приполярного и Полярного Урала [14]. Проведённая оценка состояния численности пока не позволила определённо квалифицировать данный вид как «Находящийся под угрозой исчезновения». Однако учитывая, что ареал популяции практически полностью находится в зоне активно ведущихся горнорудных работ и сети популярных туристических маршрутов на севере национального парка «Югыд ва», данный вид имеет высокую вероятность быть отнесённым к категории VU в ближайшем будущем. На данном этапе наблюдений он квалифицирован как «находящийся в состоянии, близком к угрожаемому» (NT).

К категории NT отнесён и парусник *Par-nassius corybas uralensis* Krb., проблемы оценки редкости и охраны которого освещались нами в специальной статье [15]. Сюда же вошли голубянки *Argiades glandon aquilo* (Bsd.), *Polyommatus eros taimyrensis* Korsh., шашечница *Euphydryas iduna* (Dalm.), толстоголовка *Pyrgus andromedae* (Wall.): все обнаруженные местообитания видов испытывают сильную антропогенную нагрузку, что может негативно в итоге отразиться на численности их популяций.

К категории «Уязвимые» (VU) блока «Находящиеся под угрозой исчезновения» мы склонны пока относить перламутровку *Clossiana tritonia* (Vöb.), которая имеет крайне ограниченное распространение и очень низкую численность на Полярном Урале. Состояние двух выявленных локальных популяций оценено по критерию D2. Основным и постоянно действующим лимитирующим фактором является относительно лёгкий доступ к локальным популяциям и непосредственный вылов бабочек этого вида коллекционерами и с коммерческими целями в районе ж.-д. ветки Сейда – Лабытнанги.

Парусник *Driopa mnemosyne* считается редким на большей части своего ареала, поэтому включён во многие национальные и региональные КК. Во втором издании КК Республики Коми [6] он представлен как вид с сокращающейся численностью.

Самая высокая численность вида в республике наблюдается на территории Печоро-Ильчского заповедника и его буферной зоны. Наши учёты, проведённые по методике Н.Г. Челинцева [10], показали, что плотность имаго в некоторых группировках может приближаться к 200 экз./км<sup>2</sup>. Данные группировки, очевидно, являются субпопуляциями крупной верхнепечорской метапопуляции парусника *Driopa mnemosyne*, однако для решения данного вопроса требуются специальные исследования, такие как, например, были сделаны в отношении этого вида в Заонежье [16].

Природоохранный статус Печоро-Ильчского заповедника обеспечивает стабильную численность *Driopa mnemosyne*, по крайней мере на протяжении последних 20 лет. На основании этого верхнепечорская метапопуляция может быть оценена как вызывающая наименьшие опасения, т. е. отнесена к категории LC.

Второе место по количеству местонахождений парусника *Driopa mnemosyne* в РК принадлежит Ухтинскому району. Состояние

численности популяционных группировок вида сильно различаются. С 2001 г. относительно стабильная численность до 80 экз./км<sup>2</sup>, сохраняется на территории комплексных заказников «Седьюсский» и «Гажаягский». В окрестностях г. Ухты зафиксировано вымирание в очень краткие сроки трёх популяционных группировок. В частности, в устье р. Чуть вблизи пос. Водный плотность вида в 2004 г. составила 65 экз./км<sup>2</sup>. С 2007 г. парусник здесь не фиксировался. Еще две группировки вида вымерли в верховьях р. Чуть, где в настоящее время наблюдается сильное антропогенное воздействие на природные сообщества (интенсивное движение большегрузного автотранспорта, добыча нефти, рубка леса). Сложившаяся ситуация даёт основание выделить местообитания вдоль русла р. Чуть в один локалитет. Согласно определению МСОП этим термином характеризуется географически или экологически чётко ограниченная область, в которой одно угрожаемое событие может быстро затронуть все особи данного вида. Величина локалитета зависит от области, где действует угрожаемое событие, и может включать часть одной или множество популяций. Популяционные группировки *Driopa tnetosyne* в чутыинском локалитете оценены нами по критерию B2b(iii,iv) и отнесены к категории VU. При сохранении тенденции снижения показателей численности в течение последующих десяти лет они могут быть переведены в категорию «Находящиеся в опасном состоянии» (EN).

В последние годы были получены материалы о распространении парусника *Driopa tnetosyne* на Среднем Тимане и в Западном Притиманье. К сожалению, удовлетворительных сведений о состоянии и динамике численности вида здесь пока нет.

### Заключение

Представленные оценки риска исчезновения дневных чешуекрылых на территории Республики Коми, конечно, провизорные, требуется продолжение специальных исследований, включающих мониторинг численности и определение пространственной структуры видовых популяций. В первую очередь это касается чешуекрылых, отнесённых к категориям DD, NT и VU.

Применение критериев и категорий МСОП надо признать действенным методом для оценки состояния природных популяций видов, но не для определения их природо-

охранного статуса. КК России и субъектов Федерации – официальные юридические документы, тогда как списки объектов, основанные на критериях и категориях МСОП, не являются приоритетом для природоохранных мер. Поэтому при подготовке КК существует необходимость их согласования с национальным законодательством и, в частности, с положениями Стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов (Приказ Минприроды от 06.04.2004 г. № 323). При подготовке нового издания КК Российской Федерации этому аспекту уделялось особое внимание. Была поставлена стратегическая задача – классифицировать животный мир по двум признакам: степени угрозы выживанию объекта (категории МСОП) и категориям природоохранного статуса. Природоохранный статус позволит определить приоритеты сохранения редких и исчезающих видов, исходя из реальных финансовых, административных и научных ресурсов. То есть в КК предлагается заносить виды, реально нуждающиеся в специальных мерах сохранения, ранжируя их по приоритетам действий. Виды, за которыми необходим особый контроль, следует включать в Приложения, аналогичные в существующих изданиях КК. Их сохранение будет осуществляться в соответствии с другим ресурсным законодательством.

Таким образом, при подготовке 3-го издания КК Республики Коми кроме составления списка редких дневных чешуекрылых, основанного на критериях и категориях МСОП, необходимо будет провести серьёзную работу по вычленению приоритетных объектов, остро нуждающихся в принятии конкретных неотложных мер по их охране и мониторингу. На неохраемых территориях в местах их обитания должно быть ограничено природопользование согласно Федеральному закону «О животном мире» (от 24.04.1995 г. № 52-ФЗ с изменениями на 7.05.2013 г.). Большое значение в работе по снижению риска исчезновения дневных чешуекрылых имеет эколого-просветительская работа и экологическая пропаганда – редкие бабочки должны быть «узнаваемы в лицо» даже неспециалистами. В местах их обитания, посещаемых людьми, желательна установка предупреждающих аншлагов с изображением видов на разных стадиях развития. Наконец, необходимо реальное применение предусмотренных законодательством административных и штрафных санкций к физическим и юридическим

лицам в случае нанесения прямого или опосредованного ущерба состоянию природных популяций вида. Надо признать, что в России по отношению к краснокнижным насекомым они применяются крайне редко.

### Литература

1. Van Nieuwerkerken et al. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 // Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Zhang, Z.-Q. (Ed.). Zootaxa. № 3148. 2011. P. 212–221.
2. Pollard E., Yates T. J. Monitoring butterflies for ecology and conservation. The British butterfly monitoring scheme. London: Chapman & Hall, 1993. 274 p.
3. Мартыненко А.Б. Экология и география дневных чешуекрылых (Lepidoptera, Diurna) Приморского края. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2004. 292 с.
4. Красная книга Российской Федерации (Животные). М.: АСТ Астрель, 2001. 860 с.
5. Красная книга Республики Коми / Под ред. А.И. Таскаева. М. Сыктывкар: Изд-во ДИК, 1998. 527 с.
6. Красная книга Республики Коми. 2-е изд. / Под ред. А.И. Таскаева. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. 791 с.
7. Красная книга РСФСР. Животные. М.: Россельхозиздат, 1983. 458 с.
8. Категории и критерии Красного списка МСОП. Версия 3.1. Подготовлено Комиссией по выживанию видов МСОП. М.: Chinot ENK, 2002. 46 с.
9. Pollard E. A method for assessing changes in the abundance of butterflies // Biol. Conserv. 1977. V. 12. No 2. P. 115–134.
10. Челинцев Н.Г. Маршрутный визуальный учёт имаго булавоусых чешуекрылых (проект методики) // Бюл. МОИП. Отд. биол., 2002. Т. 107. Вып. 4. С. 66–69.
11. Чернов Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М.: Мысль, 1975. 222 с.
12. Красная книга Ямало-Ненецкого автономного округа: животные, растения, грибы / Отв. ред. С.Н. Эктова, Д.О. Замятин. Екатеринбург: Баско, 2010. 308 с.
13. Красная книга Ненецкого автономного округа. Официальное издание / Под ред. Н.В. Матвеевой, О.В. Лавриненко, И.А. Лавриненко. Нарьян-Мар, 2006. 450 с.
14. Tatarinov A.G., Koulakova O.I. Notes sur la variabilité et l'écologie d'Oeneis magna Graeser, 1888, dans le nord-est de l'Europe (Lepidoptera Nymphalinae Satyrinae) // Alexanor. 2012 (2014). № 25 (7). P. 393–400.
15. Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Эколого-географические особенности, биология и проблемы охраны парусника *Parnassius corybas* Fischer de Waldheim (*phoebus* auct. nec (Fabricius, 1793)) (Lepidoptera: Papilionidae) на Урале // Эверсманния, 2013. № 33. С. 35–40.
16. Горбач В.В., Кабанен Д.Н. Пространственная организованность популяции чёрного аполлона (*Parnassius mnemosyne*) в условиях Заонежья // Зоол. журнал. 2009. Т. 88. № 12. С. 1493–1505.

### References

1. Van Nieuwerkerken et al. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 // Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Zhang, Z.-Q. (Ed.). Zootaxa. № 3148. 2011. P. 212–221.
2. Pollard E., Yates T. J. Monitoring butterflies for ecology and conservation. The British butterfly monitoring scheme. London: Chapman & Hall, 1993. 274 p.
3. Martynenko A.B. Butterfly Ecology and Geography of Far East of Russia. Vladivostok: Izd-vo DVGU, 2004. 292 p. (in Russian).
4. Red Data Book of Russian Federation (Animals). M.: AST Astrel, 2001. 860 p. (in Russian).
5. Red Data Book of Komi Republic / Ed. A.I. Taskaeva. Syktyvkar: Izd-vo DIK, 1998. 527 p. (in Russian).
6. Red Data Book of Komi Republic. 2-nd edition. / Ed. A.I. Taskaev. Syktyvkar: Institut biologii Komi NTs UrO RAN, 2009. 791 p. (in Russian).
7. Red Data Book of RSFSR. Animals. M.: Rosselkhozizdat, 1983. 458 p. (in Russian).
8. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission/ IUCN. M.: Chinot ENK, 2002. 46 p. (in Russian).
9. Pollard E. A method for assessing changes in the abundance of butterflies // Biol. Conserv. 1977. V. 12. No 2. P. 115–134.
10. Chelintsev N.G. Route visual account of the imago of Butterflies (the project methodology) // Bull. MOIP. Biology Dep. 2002. Vol. 107. No 4. P. 66–69. (in Russian).
11. Chernov Yu. I. Natural zonality and the Animal World of the Earth. M.: Mysl, 1975. 222 p. (in Russian).
12. Red Data Book of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug: animals, plants, fungi / Eds. S.N. Ektova, D.O. Zamyatin. Ekaterinburg: Basko, 2010. 308 p. (in Russian).
13. Red Data Book of Nenets Autonomous Okrug / Eds. N.V. Matveyeva, O.V. Lavrinenko, I.A. Lavrinenko. Naryan-Mar, 2006. 450 p. (in Russian).
14. Tatarinov A.G., Koulakova O.I. Notes sur la variabilité et l'écologie d'Oeneis magna Graeser, 1888, dans le nord-est de l'Europe (Lepidoptera Nymphalinae Satyrinae) // Alexanor. 2012 (2014). № 25 (7). P. 393–400.
15. Tatarinov A.G., Kulakova O.I. Ecological and geographic peculiarities, biology and conservation problems of the *Parnassius corybas* Fischer de Waldheim, 1823 (*phoebus* auct., nec (Fabricius, 1793)) (Lepidoptera: Papilionidae) in the Ural Mountains // Eversmaniya. 2013. No 33. P. 35–40. (in Russian).
16. Gorbach V.V., Kabanen D.N. Spatial organization of the clouded apollo butterfly (*parnassius mnemosyne*) in lake onega basin // Zool. zhurnal. 2009. Vol. 88. No 12. P. 1493–1505. (in Russian).

## Специфика регионального энтомомониторинга в условиях крупного северного города Европейской России

© 2016. Е. В. Юркина<sup>1</sup>, д.б.н., профессор, С. В. Пестов<sup>2,3</sup> к.б.н., доцент, н.с.,

<sup>1</sup>Сыктывкарский лесной институт,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ленина, д. 39,

<sup>2</sup>Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

<sup>3</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
e-mail: evjur@yandex.ru, pestov@ib.komisc.ru

В статье дана экологическая характеристика энтомофауны города Сыктывкара. В г. Сыктывкаре и его окрестностях отмечено 1162 вида членистоногих, принадлежащих пяти классам, 28 отрядам, 202 семействам. Отмечены сезонные аспекты изменения состава и экологической структуры энтомологических комплексов. Представлен список видов насекомых-феноиндикаторов сезонного развития природы в условиях г. Сыктывкара. Выявлены наиболее массовые, хорошо идентифицируемые виды насекомых, дающие фенологический отклик на изменения условий обитания.

**Ключевые слова:** насекомые, фауна, урбоэкосистемы, сезонная динамика, биомониторинг.

## Specificity of regional entomological monitoring in a northern city of European Russia

E. V. Yurkina<sup>1</sup>, S. V. Pestov<sup>2,3</sup>,

<sup>1</sup>Syktывkar Forest Institute,  
39 Lenin st., Syktывkar, Komi Republic, Russia, 167982,

<sup>2</sup>Vyatka State University,  
36 Moskovskaya st., Kirov, Russia, 610000,

<sup>3</sup>Institute of Biology  
of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,  
28 Kommunisticheskaya st., Syktывkar, Komi Republic, Russia, 167982,  
e-mail: evjur@yandex.ru, pestov@ib.komisc.ru

The article presents ecological characteristics of entomofauna of the city of Syktывkar. The objectives of the study are: 1) to study the species composition of entomofauna of Syktывkar and its trophic structure; 2) to identify different interest representatives of insects in conditions of urban landscapes; 3) to establish the influence of aspect landscape characteristics of urban-forest ecosystems on insects. Syktывkar and the surrounding area is inhabited with 1162 species of arthropods belonging to five classes, 28 orders, a total of 202 families. Seasonal aspects of changes in the composition and ecological structure of entomological complexes is marked. A list of species of insects, which are phenological indicators of seasonal change in conditions of Syktывkar is presented. The most abundant and well identified species of insects having phenological response to changing habitat conditions were specified. The character of seasonal changes in insects species composition in urban environment differs from that in forest biocenoses. Available data included in the nature calendar of the city contains 11 natural phenomena associated with insects. They can be taken as the basis for phenological monitoring of urban areas. It is proposed to include insect species as objects of urbo-monitoring of both the insects and the type of damage inflicted. Among the latter is the galls formed by insects. Because insects are so numerous and easily identified as representatives of Scarabaeidae bugs, beetles, long-horned beetles, butterflies *Aporia crataegi*. Bird cherry ermine moths belong to the group of the anthropogenic impact resistant species. In urban-forest ecosystems there are also species of the genus *Formica* which indicate vulnerable habitats.

**Keywords:** insects, fauna, urban ecosystem, seasonal dynamics, biomonitoring.

Антропогенное влияние на экосистемы приобрело в настоящее время глобальное средообразующее значение. Стремительный рост городов, расширение транспортного сообщения, развитие промышленности и другие виды человеческой деятельности породили насущную необходимость изучать уникальную среду, которая возникает на антропогенно трансформированных территориях. В условиях роста городов, изменения климата и антропогенного пресса работа городской системы защиты зелёных насаждений от вредителей не в состоянии спасти растения [1]. В настоящее время традиционные виды лесозащитных мероприятий, разработанные для лесных насаждений в условиях городов, мало применимы. При создании системы защиты городских насаждений необходимы мероприятия, учитывающие специфику городских экосистем. Подобное создаётся усилиями учёных для территорий мегаполисов [2, 3, 4, 5]. Однако географические отличия городов и их размерности требуют наработки адресного подхода к сохранению их зелёных насаждений.

Специфика организации урболесных экосистем заключается в том, что в городах абиотические и биотические компоненты сочетаются с главенствующим антропогенным фактором. Под урболесными территориями мы понимаем сочетание городских лесов и зелёных зон, включённых в современную застройку [6]. Вместе они входят в состав антропогенной урбанистической системы, представляющей экосистему нового типа. Эти территории выполняют экологическую, санитарно-гигиеническую и рекреационную функции. Такие природные резерваты среди урбанизированных ландшафтов служат источниками восстановления и обогащения животного и растительного мира.

В пределах города можно выделить несколько типов биотопов, отличающихся по способу формирования, характеру антропогенного использования, степени варьирования экологических факторов и интенсивности техногенного прессинга [7 – 10]. Для города характерна высокая мозаичность, поэтому город нередко понимается как система экотон [11].

Зелёные насаждения городских экосистем являются наиболее важным средообразующим фактором, определяющим уровень биоразнообразия животных. Внешне это выражается в создании аспектов природных сезонов и подсезонов. Аспективность фенологических явлений обусловлена фенолого-

физиономическими изменениями, которые создают отдельные группы живых организмов во время своего развития [12]. Заметный вклад в развитие аспективности феноявлений растительных сообществ урболесных экосистем вносят насекомые. Они в достаточной мере населяют зелёные, селитебные зоны и промышленные территории городов. На данном основании их можно включать в экологический мониторинг урбанизированной среды.

Систематическое изучение сезонных ритмов природы проводилось в бывшем СССР на протяжении длительного периода [13, 14]. Данные, которые включаются в календари природы, в среднем находятся в диапазоне 10–20 лет. Так, в Сыктывкаре и его окрестностях самыми длительными были наблюдения за температурными показателями (130 лет) [15]. Происходящие в последние десятилетия изменения климата влияют на природу и её сезонную ритмику. Поэтому важно оценить фенологический отклик на произошедшие изменения, что может стать основой мониторинга.

### Материалы и методы

Исходя из этого, общей целью комплексных работ, проводимых в окрестностях г. Сыктывкара, было выявление характерных видов и семейств насекомых, наиболее ярких и эстетически значимых в условиях крупных городов в период вегетации. На основе новых данных происходит пополнение существующих региональных списков видов насекомых-индикаторов сезонов и подсезонов, сбор эколого-биологической компоненты для создания фенологического мониторинга урболесных территорий, подбор представителей энтомофауны – индикаторов аспектов природы.

В задачи исследования входило: 1. Изучение видового состава энтомофауны г. Сыктывкара и её трофической структуры. 2. Выявление доли участия различных представителей насекомых в аспектах городских ландшафтов. 3. Установление взаимосвязей насекомых с ландшафтными аспективными характеристиками урболесных экосистем.

При решении поставленных задач были использованы как маршрутные, так и стационарные способы работы. Применены стандартные методы сбора насекомых: ловля насекомых на лету, кошение по травостой стандартным энтомологическим сачком, ручной сбор с растений, отряхивание насекомых с крон растений на полог. Составлена коллекция

насекомых, включающая представителей фитофагов и зоофагов, и типов наносимых ими повреждений. Выявлены новые и уточнены известные представители, входящие в состав аспектов природы в летний период. Метеорологические наблюдения включали контроль атмосферных осадков, отслеживание интенсивности ветра (оценивали глазомерно) и слежение за ходом температур.

### Район исследований

Общая площадь города Сыктывкара составляет 152 км<sup>2</sup>. На долю суши приходится 92% общей площади. Город располагается на берегах двух рек – Вычегды и Сысолы и окружён лесами. Минимальная высота города над уровнем моря – 75 метров, максимальная – 172 метра. Около 72% территории города занято лесами, 11% общей площади занято сельскохозяйственными угодьями, 5% – водоёмами и болотами. Как видно из таблицы 1, за пять лет (2008–2013 гг.) город сохраняет свою территорию неизменной, при этом плотность застройки заметно возросла, а площадь зелёных насаждений и озеленённость сильно уменьшилась [16]. Почти на 1/3 сократилась за данный период обеспеченность зелёными насаждениями жителей столицы.

Климатические особенности г. Сыктывкара и его окрестностей определяются их положением в зоне умеренного климата, сравнительно большой удалённостью от морей и океанов и малым количеством солнечной радиации [17]. Погодные условия в целом соответствовали летнему периоду. Была отмечена повышенная влажность воздуха и чередование осадков в виде дождя и туманов.

Площадь городских лесов составляет 2873,7 га. Пригородные леса с давних пор интенсивно эксплуатируются, что отразилось на их возрастной структуре. Почти везде преобладают молодые и средневозрастные сосновые, берёзовые и осиновые древостои, тогда как в ельниках – спелые и перестойные.

### Результаты и обсуждение

На данный момент в г. Сыктывкаре и его окрестностях выявлено 1162 вида членистоногих, принадлежащих пяти классам, 28 отрядам, 202 семействам [18].

Несмотря на антропогенный прессинг, видовое разнообразие насекомых в крупных городах достаточно велико. Насекомые появляются ещё в конце марта, когда лежит снег. Первой появляется крапивница, в Сыктывкаре это обычно происходит 5 апреля. Летом этот вид находится на стадии гусеницы в рудеральных местообитаниях с доминированием зарослей крапивы. Примерно через десять дней после крапивницы появляется лимонница. Среди наиболее характерных видов чешуекрылых в условиях урбанизированной среды г. Сыктывкара можно назвать *Yponomeuta evonymella* (L.), *Acronicta megacephala* (Den. et Schiff.), *Clossiana dia* (L.), *Polyommatus icarus* (Rott.), *Rheumaptera hastata* (L.), *Diacrisia sannio* (L.) и *Spilosoma lubricipeda* (L.), *Hepialus humuli* (L.), *Eurrhynx hortulata* (L.)

Самым массовым видом чешуекрылых является боярышница, которая в сезон 2014 г. дала вспышку размножения по всей подзоне средней и южной тайги. Весной 2015 г. появление гусениц совпало с началом раскрытия почек на боярышнике и рябине. В первой декаде июня

Таблица 1

Характеристика состояния урбанизированных территорий по г. Сыктывкар (2008–2013 гг.)

Показатель	Год				
	2008	2009	2011	2012	2013
Площадь территории муниципального образования, тыс. км <sup>2</sup>	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Площадь земель поселений, км <sup>2</sup>	209,45	209,45	167,51	167,51	167,51
Урбанизированность территории, %	28,69	28,69	22,85	22,85	22,85
Общая площадь городских земель в пределах городской черты, км <sup>2</sup>	161,59	161,59	165,64	165,64	165,64
В том числе:					
площадь застроенных частей, км <sup>2</sup>	70,35	70,35	80,12	80,12	80,12
площадь зелёных насаждений, км <sup>2</sup>	54,95	54,95	34,31	34,31	34,31
Озеленённость городских земель, %	34	34	20,71	20,71	20,71
Обеспеченность зелёными насаждениями горожан, м <sup>2</sup> /чел.	223,2	218,9	134,82	133,98	133,03
Численность населения, тыс. чел.	248,2	251,07	254,49	256,07	257,92

численность этой бабочки в условиях Сыктывкара достигает 488 экз./м<sup>2</sup>. [19]. В 2010 г. была отмечена вспышка численности совки *Acrionicta megacephala* (Den. et Schiff.) на тополях [20]. К третьей декаде мая они находились в 4–5 возрастах. Листву съедали на концах побегов полностью. Окукливание начали в третьей декаде месяца. На лесных полянах хорошо заметны виды семейств *Lycaenidae*, *Nymphalidae* и *Satyridae*.

Менее заметны сумеречные и ночные представители. В северных лесах зачастую преобладают виды пядениц, совок. Тонкопряды, медведицы, листовёртки и другие близкие представители в период исследований находились также на стадии имаго, и только немного позже в лесах и на лугах появятся их гусеницы. Из вредителей лесных древесных растений в районе исследований были черёмуховая горностаевая моль и пяденица берёзолистная. В разгар лета их лёт уже заканчивается. Типичными представителями – участниками аспектов природы являются виды белянок с доминантом – боярышниковой и капустной, бабочки семейства нимфалиды, и голубянки.

Стрекозы в целом в городах нечасты. Появление стрекоз обычно происходит с 30 мая. На сроки лета существенно влияют погодные условия года. В 1991 г. первые виды в окрестностях Сыктывкара появились лишь 30 июня, в 2000 г. уже 15 мая [21]. Среди стрекоз преобладают некрупные представители настоящих стрекоз с характерным видом – *Sympetrum flaveolum* (L.). Все они входят в число участников летних аспектов урболесных экосистем.

Сначала вегетации связано появление насекомых фитофагов, жизнь которых в основном связана с подсезоном «цветущая весна» и ценным для них источником пищевого ресурса – молодой зеленью. В последние годы в северных городах вспышки массового размножения членистоногих происходят ежегодно. Доминируют вредители филофаги. За пределами городов весенне-раннелетнего листопада мы не наблюдали. В последней декаде мая и первой декаде июня 2015 г. массовый листопад старовозрастных берёз был вызван галлообразующими растительноядными клещами *Acalitus rudis* (Canestrini). Сложившаяся конкурентная среда включает на тополях как сосущих, так и грызущих представителей насекомых. Горностаевые моли *Yponomeuta evonymella* (L.) массово размножаются ежегодно. Это, можно сказать, уже типичный вид для урбанизированной среды [18].

В составе выявленных видов были как грызущие (*Orthoptera*), так и сосущие насекомые отрядов *Heteroptera* и *Homoptera*. Данный набор представителей типичен для летних аспектов фенологического подсезона умеренно тёплого лета, характеризующегося полным развитием листвы и зацветанием ряда растений. Прежде всего это цветение на открытых полянах и лугах шиповника – индикатора наступления лета (18.06). В это же время в окрестностях Сыктывкара вслед за уже отцветающей черёмухой начинают цвести лесная земляника, чёрная смородина, рябина обыкновенная, калина и др. виды. Поэтому закономерно массовое появление в конце первой фазы лета многочисленных представителей растительноядных насекомых. Летящие, прыгающие, ползающие насекомые создают особый аспект зелёного кольца северных городов. В окрестностях г. Сыктывкара больше всего оказалось полужесткокрылых насекомых из семейств *Pentatomidae* и *Miridae* и прямокрылых сем *Acrididae*. Некоторые виды клопов были абсолютными доминантами. Среди них *Aelia acuminata* (L.). Экологические характеристики этого вида связаны с тем, что он, являясь умеренно мезофильным видом, становится активным при среднесуточной температуре 5–10 °С. Гибель насекомых значительна в холодные малоснежные зимы. Весной клопы плохо переносят резкие смены температур и обильные осадки. Наиболее благоприятны среднесуточные температуры воздуха 22–25 °С при влажности 60–80%. При чрезмерно высоких температурах и гибели растительности от засухи клопы уходят в летнюю диапаузу (июль-август). Уход на зимовку начинается при фотопериоде 12–17 часов и среднесуточной температуре 20 °С. В спектр кормовых растений щитника входит 85 видов кормовых растений. Это преимущественно многолетние злаковые травы. Из культурных растений предпочитают озимую и яровую пшеницу, рожь. Клопы питаются также на ячмене, овсе. Наиболее вредоносны повреждения всходов (поражается центральный лист). В результате этого происходит угнетение их роста и развития. В фазу кущения вредитель питается на боковых стеблях, делая уколы ниже зачатка колоса. При этом центральный лист желтеет и засыхает. В фазу выхода в трубку клопы наносят уколы в листья, которые желтеют и засыхают. В фазу колошения личинки питаются на колосьях, высасывая содержимое зёрен. Зерно становится щуплым, теряет свои хлебопекарные качества. Защитные мероприятия

включают уничтожение сорняков, раннюю уборку урожая, осеннюю зяблевую вспашку, применение химических средств защиты, как против имаго, так и против личинок.

Среди первых жуков, которые появляются в окрестностях г. Сыктывкара, – майский хрущ (22 мая). Затем начинается лёт короедов, усачей. Далее, весь вегетационный период, красивые и яркие насекомые данной группы – неотъемлемая часть весенне-летних аспектов живой природы.

Специализированной и легко обнаруживаемой группой являются галлообразующие виды. Они создают своеобразное дополнение к аспекту леса летнего периода. Это выражается в изменённой или пёстрой окраске листьев и черешков растений и их конфигурации. Галлы остаются постоянными по форме и поэтому могут иметь диагностическое значение. Очень часто они встречаются на листьях осины, липы, черёмухи, ивы, берёзы, шиповника и т. д. Данные зоогенные структуры леса широко представлены в городских насаждениях. Перепончатокрылые и двукрылые насекомые – частые участники процесса галлообразования. В г. Сыктывкаре выявлено 17 видов галлообразующих членистоногих [22].

Среди семейств отряда жесткокрылые отмечены фитофаги (Curculionidae, Tenebrionidae, Byrrhidae, Cerambycidae, Elateridae, Oedemeridae), сапрофаги (Anthicidae, Scarabaeoidea) и энтомофаги (Cantharidae, Carabidae, Malachidae, Coccinellidae). Соотношение видового обилия этих групп может незначительно меняться. Во всех точках исследования нами зафиксировано достаточно большое количество жуков фитофагов. Наиболее характерными видами, составляющими аспект леса в вегетационный период, были божьи коровки, мягкотелки, жуки листоеды и щелкуны. Более разнообразен видовой состав жуков луга, по сравнению с лесами. Жуки – опасные вредители леса, немногочисленны. Среди них имеются преимущественно листогрызущие представители семейства Curculionidae и стволовые вредители из семейства Cerambycidae. Для них характерен эруптивный тип численности, выражающийся в массовых периодических вспышках численности.

Одной из самых многочисленных групп насекомых в городах севера являются виды отряда двукрылые. Учитывая динамику лёта двукрылых, их можно считать неотъемлемой аспекттивной составляющей таёжных экосистем на протяжении весеннего, летнего и частично – осеннего сезонов года. По трофи-

ческой специализации двукрылые относятся к фитофагам (Syrphidae, Muscidae, Tephritidae, Tipulidae), энтомофагам (Syrphidae, Tachinidae, Bombyliidae, Asilidae, Sciomyzidae, Muscidae Sarcophagidae, Conopidae Therevidae, Tabanidae, Dolichopodidae) и сапрофагам (Syrphidae, Muscidae, Sarcophagidae, Bibionidae, Culicidae)

Ярким летним аспектом в определённые моменты сезона и суток становятся комары звонцы и мошки. Они роятся, предсказывая хорошую погоду. Это происходит в вечерние часы. Множество самцов комаров толкуются в воздухе, образуя облако. Самки влетают в рой и покидают его, увлекая самцов. Появление кровососущих комаров в окрестностях Сыктывкара, по многолетним данным, отмечено в подсезон весны – «зеленеющая весна» – 11 мая. Самое раннее их появление было 16 апреля 1963 г., а позднее – 29 мая 1961 г. Комары будут присутствовать вплоть до подсезона разгара осени. Последний рой комаров-толкунцов в окрестностях Сыктывкара происходит 22 сентября.

Среди заметных представителей двукрылых – мухи-журчалки и слепни. Первые играют важную роль в опылении цветковых растений. Пик лёта приходится на середину июля. По времени лёта виды журчалок нами разделены на 10 фенологических групп [23]. В течение периода лёта происходят изменения в структуре экологических групп журчалок. В середине мая активны гигрофилы и мезофилы. Это связано с набором кормовых цветущих растений, многие из которых растут во влажных местах: калужница болотная и ивы. К началу июня устанавливается типичное почти для всего лета соотношение экологических групп. К началу августа исчезает группа гигромезофилов и увеличивается доля мезоксерофилов. В сентябре увеличивается доля эврибионтных и синантропных видов. Это совпадает с тем, что большинство дикорастущих растений уже отцветает.

Для слепней характерна смена доминирующего вида в течение сезона. В подзоне средней тайги первыми в конце мая появляются слепни *Hybomitra lurida* (Fl.) и *H. nitidifrons* (Szilady). Самыми массовыми видами слепней с середины июня по начало июля являются *Hybomitra bimaculata* и *H. lundbecki*. Максимальное видовое разнообразие (31 вид) отмечается в первой половине июля. К третьей декаде июня появляются *Hematopota pluvialis* и *Tabanus bromius*, которые в конце июля становятся наиболее массовыми и назойливыми

кровососами. Окончание лёта слепней в подзоне средней тайги приходится на середину августа [24].

Личинки двукрылых развиваются в разнообразных субстратах. Это разлагающиеся органические остатки, иногда живые ткани растений или животных, водоёмы различного типа. Среди них имеется довольно много видов вредителей сельскохозяйственных культур, которые могут систематически или периодически размножаться в массе. Так, личинки комаров-долгоножек питаются разлагающимися растительными остатками, реже — тканями живых растений, чем могут наносить урон сельскому и лесному хозяйству. Личинки двукрылых из-за образа жизни не способны к длительным передвижениям. Уходя в скрытые среды жизни, они практически выпадают из аспектов.

В целом разнообразные представители отряда Diptera в течение вегетационного периода в окрестностях г. Сыктывкара создают в природе мощный аспект. Среди самых ярких представителей — комары-кусаки, звонцы, мошки, слепни, настоящие мухи и мухи журчалки. Поэтому можно с уверенностью сказать, что, несмотря на разнообразные виды традиционного природопользования в городских лесах — вырубку леса, сельскохозяйственное использование земель, сенокосение и пастьбу скота, умеренное рекреационное воздействие на ландшафт не вызывает отрицательных последствий для двукрылых насекомых, а скорее всего даже способствует его информационно-биологическому насыщению. Данный факт возможно взять за основу характеристики ландшафтного разнообразия и устойчивости биогеоценозов.

Перепончатокрылые — один из самых крупных отрядов насекомых, включающий множество разнообразных видов. Однако они повсюду недостаточно исследованы. Обычно изучаются две таксономические группы: шмели и муравьи. Шмели как опылители активно используют культивируемые и синантропные виды растений, на долю которых приходится более половины их спектра питания. Муравьи — активные хищники, важные составляющие среди насекомых зоофагов. Многочисленные фитофаги, паразитические виды и хищники остаются вне области внимания специалистов.

Образ жизни перепончатокрылых разнообразен. Леса пригородных зон привлекают растительноядных, хищных и паразитических перепончатокрылых. Исходя из этого, возможно их включение в число аспектов природы вегетационного периода года.

В природе имеется достаточно видов, приспособившихся к питанию пыльцой и нектаром цветков. Опылители — яркая составляющая аспекта весенне-летнего сезона. Основная часть активных потребителей этой высококалорийной продукции находится в отряде Hymenoptera надсемейства Apoidea (семейства Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Apidae). Эти семейства составляют заметный аспект леса в летний период. На лугах эта ниша обычно занята медоносными пчёлами и шмелями. Поскольку на обследованных участках суходольных лугов цветущих растений было мало, данные виды были нечастыми. Первый вылет пчелы медоносной происходит в окрестностях Сыктывкара в подсезон ранней весны («весны света и снега») — 17 апреля. Прекращение лёта пчёл происходит 26 сентября. Их редкость в городских зелёных зонах связана с недостатком мест для гнездования. Вылет первых шмелей происходит в подсезон зеленеющей весны. По средней многолетней дате в окрестностях г. Сыктывкара это случается 11 мая. Их лёт совпадает с зацветанием ивы-бредины. Шмели очень чувствительны к разрушению среды обитания. Лимитирующим фактором для пчёл и других опылителей является сенокосение и вытаптывание цветущей растительности. Именно такие виды особенно чувствительны ко всему, что связано с изменениями среды обитания.

Многие перепончатокрылые связаны с древесными растениями, их листьями и древесиной. Представители семейства Siricidae (рогохвосты) развиваются в живой или мёртвой древесине. Поскольку они довольно редкие, а на стадии личинки находятся в скрытых средах жизни — древесине, они не входят в состав летних аспектов. Шершни раньше были достаточно редкими представителями подзоны средней тайги. В последние 20 лет в связи с климатическими изменениями они широко расселились.

Растительноядными перепончатокрылыми являются виды семейства Tenthredinidae. Они потребляют значительную часть растительного прироста, имеют покровительственную окраску и поэтому не проявляют себя в качестве участников аспектов вегетационного сезона.

Особенно заметно на фоне зеленеющего леса выглядят постройки муравьёв подрода *Formica s. str.* Они отрицательно реагируют на антропогенный пресс, поэтому в самом городе отсутствуют. В лесных местообитаниях массовыми представителями являются *Formica lugubris* — волосистый лесной муравей, *F. po-*

Таблица 2

Насекомые-феноиндикаторы сезонного развития природы в условиях г. Сыктывкара

Фенологические сезоны и подсезоны года	Сроки прохождения подсезонов	Насекомые-феноиндикаторы подсезона года	Признаки проявления	Типы наносимых повреждений
<b>Весна</b>				
Ранняя весна («весна света и снега»)	третья декада марта – третья декада апреля	крапивница	лёт имаго	–
		пчелы медоносные	лёт имаго	–
		комары-толкунчики	роение	–
Зеленеющая весна (становление весны)	третья декада апреля – вторая декада мая	кровососущие комары	лёт имаго	–
		шмели	лёт имаго	–
Цветущая весна (разгар весны, предлетье)	третья декада апреля – первая декада июня	майский жук	лёт имаго	грубое объедание листьев берёз
<b>Лето</b>				
Умеренно тёплое лето	первая декада июня – третья декада июня	черёмуховая горностаевая моль	гусеницы	скелетирование листьев черёмухи
		божьи коровки	лёт имаго	–
Разгар лета	первая декада июля – первая декада августа	боярышницы	имаго и личинки	объедание листьев древесных растений
		прямокрылые	имаго и личинки	объедание листьев травянистых растений
Спад лета	первая декада августа – третья декада августа	полужесткокрылые	имаго и личинки	уколы листьев, побегов, плодов, цветов растений
<b>Осень</b>				
Становление осени	первая декада сентября – третья декада сентября	комары-толкунчики	последний рой имаго	–
Разгар осени («полная осень»)	третья декада сентября – вторая декада октября	медоносная пчела	прекращение лёта	–

Примечание. Проверк означает, что виды не являются вредителями на указанной фазе.

*lyctena* – малый лесной муравей. *Camponotus herculeanus* – красногрудый муравей древоточец – один из характерных элементов таёжной зоны. При его участии происходит разрушение большой и мёртвой древесины.

В отряде Hymenoptera основу семейств Pompilidae, Vespidae, Sphecidae составляют хищники. Жалящие перепончатокрылые из семейства Vespidae живут одиночно или колониально. Многочисленные в ряде антропогенно нарушенных местообитаний, они практически отсутствовали на наших пробных площадях. Это связано с высокой увлажнённой почв выбранной территории.

Среди паразитических насекомых наиболее значимы представители отряда Hymenoptera.

На лесных насекомых паразитируют в основном виды семейств Ichneumonidae, Braconidae, Encyrtidae. Их лёт совпадает с вегетационным периодом, сроками и стадиями развития их хозяев. Поскольку паразитические представители имеют небольшие размеры, окраску они не могут быть участниками летних аспектов урболесных ландшафтов. Перепончатокрылые насекомые в числе других консументов обеспечивают существование и функционирование данных сообществ.

В подзоне средней тайги резкое изменение численности происходит в населённых пунктах чаще, чем на лесных землях. Сезонные изменения видового состава насекомых в условиях городов имеют иной характер, нежели в

лесных биоценозах [6]. Имеющиеся данные [15], включённые в календарь природы города, содержат 11 явлений природы, связанных с насекомыми. Их можно взять за основу при создании фенологического урбомониторинга. В качестве дополнительных объектов в общий список видов насекомых предлагается включить в качестве объектов урбомониторинга как самих насекомых, так и типы наносимых ими повреждений. Среди последних – галлы, формируемые насекомыми. Из насекомых это такие крупные и легко диагностируемые представители как пластинчатоусые жуки, жуки усачи, бабочки боярышницы. К числу устойчивых к антропогенному воздействию видов можно отнести черёмуховую горностаевую моль. В урболесных экосистемах присутствуют также виды – индикаторы уязвимых местообитаний. Это представители рода *Formica*.

Также пришло время пополнить региональный список насекомых – феноиндикаторов сезонного развития природы. Это прежде всего те виды, которые фенологически значимы в течение всего вегетационного периода. Во второй группе виды, значимые для весенне-раннелетнего периода. В третьей группе летние и позднее летние виды. Общий список насекомых-феноиндикаторов сезонного развития природы урбоэкосистемы г. Сыктывкара представлен в таблице 2.

Возможности ранней диагностика горностаевой моли, точечной смолевки, большого соснового долгоносика и других видов вредителей помогут сохранить древесные породы в городах и их пригородах. Таким образом, полученные нами результаты позволяют сказать, что зелёные зоны городов и их животное население являются значимой составной частью их экологического каркаса. Они в значительной степени определяют благоприятную природную обстановку. К данным территориям приурочены виды, способные выжить и составить часть урболесных сообществ. Среди насекомых в состав аспектов и их смен в урболесных ландшафтах входят массовые индикаторные виды, представляющие наиболее значимые отряды. Среди таковых можно назвать полужесткокрылых, жесткокрылых, чешуекрылых, перепончатокрылых и двукрылых.

### Литература

1. Юркина Е.В., Пестов С.В. Фенологические особенности лесных насекомых подзоны средней тайги Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 4. С. 83–91.

2. Мозолевская Е.Г., Белов Д.А. Целесообразность назначения защитных мероприятий от вредителей и болезней в городских насаждениях // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2006. № 2. С. 239–245.

3. Селиховкин А.В. Система принятия стратегических и оперативных решений по управлению городским зелёным хозяйством на основе данных мониторинга // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 1999. № 2. С. 72–74.

4. Мозолевская Е.Г., Голубев А.В., Шарапа Т.В., Денисова Н.Б. Методы оценки состояния насаждений и негативной роли вредителей и болезней // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 3 (95). С. 52–58.

5. Белов Д.А., Белова Н.К. Организация интегрированной системы управления численностью дендрофильных членистоногих фитофагов в городских насаждениях // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 6 (104). С. 181–192.

6. Юркина Е.В., Ефремова Е.М. Антропогенное обогащение и обеднение флоры и фауны лесных территорий крупных северных городов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 6 (104). С. 172–180.

7. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990. 246 с.

8. Тищенко А. А. О классификации урбанизированного ландшафта применительно к зоогеографическим целям // Поволжский экологический журнал. 2006. № 1. С. 95–102.

9. Ручин А. Б., Мещеряков В. В., Спиридонов С. Н. Урбоэкология для биологов. М.: КолосС, 2009. 195 с.

10. Баранова О.Г., Бралгина Е.Н. Классификация городских местообитаний городов Удмуртской Республики // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25. Вып. 1. С. 34–39.

11. Алексанов В.В. Об уровнях пространственной организации биоты на урбанизированных территориях (на примере наземных беспозвоночных) // Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития: материалы IV Международной научно-практической конференции. Тюменский издательский дом, 2009. Вып. 4. С. 247–250.

12. Елькина Г.Я., Юркина Е.В. Экология: учеб. пособие для студ. вузов. Сыктывкар: СЛИ, 2010. 136 с.

13. Соловьев А.Н. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. М.: Пасва, 2005. 288 с.

14. Шульц Г.Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.

15. Природа Сыктывкара и окрестностей / Под ред. М. А. Витязевой. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1972. 160 с.

16. Государственный доклад. О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2012 году. Сыктывкар, 2013. 196 с.

17. Климат Сыктывкара / Под ред. Ц. А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 190 с.

18. Юркина Е.В., Пестов С.В. Разнообразие и характеристика насекомых в условиях крупных городов северных территорий России (на примере г. Сыктывкара). Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2015. 192 с.

19. Кулакова О.И., Татаринов А.Г. Массовое размножение и новые виды чешуекрылых (Insecta, Lepidoptera) на территории Республики Коми в 2009–2013 гг. // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиа-

гностика живых систем. Матер. XI Всерос. науч.-практ. конференции-выставки инновационных экологических проектов, Киров, 2013. С. 495–497.

20. Мингалева Н.А., Пестов С.В. Оценка состояния тополевых насаждений города Сыктывкара // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 38–44.

21. Кулакова О.И., Татаринов А.Г. Некоторые особенности экологии стрекоз Республики Коми // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2008. С. 121–124.

22. Пестов С.В. К фауне членистоногих-галлообразователей Республики Коми // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием в 2 частях. Часть 1. Киров, 2011. С. 73–77.

23. Pestov S. V. Seasonal dynamics of hoverfly (Diptera, Syrphidae) activity in the taiga zone of the Komi Republic // Entomological Review. 2010. Vol. 90. No. 6. P. 718–723.

24. Пестов С.В. Сезонная активность слепней (Diptera, Tabanidae) Европейского Северо-Востока России // Международная конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения паразитических членистоногих в XXI веке» памяти чл.-корр. РАН Ю.С. Балашова. СПб, 2013. С. 126–127.

## References

1. Yurkina E.V., Pestov S.V. Phenological characteristics of forest insects of middle taiga subzone of the Komi Republic // Teoreticheskaya i prikladnaya ecologia. 2009. № 4. С. 83–91. (in Russian)

2. Mozolevskaya E.G., Belov D.A. Reasons for protective measures against pests and diseases in urban plantings // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2006. № 2. P. 239–245. (in Russian)

3. Selikhovkin A.V. The system of making strategic and operational decisions on management of urban green economy based on monitoring data // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 1999. № 2. P. 72–74. (in Russian)

4. Mozolevskaya E.G., Golubev A.V., Sharapov T.V., Denisov N.B. Methods for assessing the state of plantings and the negative role of pests and diseases // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2013. № 3 (95). P. 52–58. (in Russian)

5. Belov D.A., Belova N.K. Organization of the integrated system of management of dendrophilous phytophagous arthropods in urban plantings // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2014. № 6 (104). P. 181–192. (in Russian)

6. Yurkina E.V., Efremova E.M. Anthropogenic enrichment and depletion of flora and fauna of forest areas of big northern cities // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2014. № 6 (104). P. 172–180. (in Russian)

7. Klausnitter B. Ecology urban fauna. M.: Mir, 1990. 246 p. (in Russian)

8. Tishchenkov A.A. The classification of urbanized landscape in relation to zoogeographic objectives // Povolzhsky ekologichesky Zhurnal. 2006. № 1. P. 95–102. (in Russian)

9. Ruchin A.B., Meshcheryakov V.V., Spiridonov S.N. Urban ecology for biologists. M.: ColosS, 2009. 195 p. (in Russian)

10. Baranova O.G., Bralgina E.N. Classification of urban habitat in the Udmurt Republic // Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Seria Biologia. Nauki o Zemle. 2015. T. 25. Vol. 1. P. 34–39 (in Russian)

11. Aleksanov V.V. The levels of spatial organization of the biota in urban areas (by the example of terrestrial invertebrates) // Urboecosystemy: problemy i perspektivy razvitiya: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tumenskiy izdatelskiy dom, 2009. Vol. 4. P. 247–250 (in Russian)

12. Elkina G.Y., Yurkina E.V. Ecology: Textbook. benefits for students. universities. Syktyvkar: SFI, 2010. 136 p. (in Russian)

13. Solovyev A.N. Biota and climate in the XX century. Regional phenology. M.: Pasva, 2005. 288 p. (in Russian)

14. Schultz G.E. General phenology. L.: Nauka, 1981. 188 p. (in Russian)

15. Nature of Syktyvkar and the surrounding area / Ed. M.A. Vityazeva. Komi knizhnoe izd-vo, 1972. 160 p. (in Russian)

16. State report. On the state of the environment of the Republic of Komi in 2012. Syktyvkar, 2013. 196 p. (in Russian)

17. Climate of Syktyvkar / Ed. C. A. Schwer. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 190 p. (in Russian)

18. Yurkina E.V., Pestov S.V. Variety and characteristics of insects in large cities in the northern territories of Russia (by the example of Syktyvkar). St. Petersburg: SPbSFTU, 2015. 192 p. (in Russian)

19. Kulakova O.I., Tatarinov A.G. Mass reproduction and new forms of Lepidoptera (Insecta, Lepidoptera) in the Komi Republic in 2009–2013. // Aktualniye problemy regionalnoy ecologii i biodiagnostika zhivikh system. Mater. XI Vseros. nauch.-pract. konferentsii-vistavki innovatsionnykh ecologicheskikh projectov, Kirov, 2013. P. 495–497 (in Russian)

20. Mingaleva N.A., Pestov S.V. Assessment of poplar plantations Syktyvkar // Teoreticheskaya i prikladnaya ecologia. 2011. № 1. P. 38–44. (in Russian)

21. Kulakova O.I. Tatarinov A.G. Some features of ecology of dragonflies of the Komi Republic // Problemy regionalnoi ecologii v usloviyakh ustoychivogo razvitiya: materialy Vseros. nauch.-practich. konf. Kirov, 2008. P. 121–124. (in Russian)

22. Pestov S.V. On the fauna gallforming-arthropods Komi // Biologicheskii monitoring prirodno-tehnodennikh sistem: materialy IX Vseros. nauch.- pract. konf. s mezhdunar. uchastiyem v 2 chastyakh. Chast 1. Kirov, 2011. P. 73–77. (in Russian)

23. Pestov S.V. Seasonal dynamics of hoverfly (Diptera, Syrphidae) activity in the taiga zone of the Komi Republic // Entomological Review. 2010. Vol. 90. No. 6. P. 718–723.

24. Pestov S.V. Seasonal activity flies (Diptera, Tabanidae) of the European North-East of Russia // Mezhdunarodnaya konferentsiya «Fundamentalnye i prikladniye aspekti izucheniya parasiticheskikh chlenistonogikh v XXI veke» pamyati chl.-korr. RAN Yu.S. Balashov, St. Petersburg, 2013. P. 126–127. (in Russian)

## О внедрении новой системы мониторинга и квотирования в практику государственного мониторинга

© 2016. Глушков В.М., д.б.н., в.н.с.,  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Преображенская, д. 79,  
e-mail: v.m.glushkov@yandex.ru

Любительская форма организации учётных работ и методическое несовершенство негативно влияют на состояние ресурсов охотничьих животных и эффективность хозяйствования. Методические и технологические инновации новой системы мониторинга и квотирования обеспечивают осуществление профессионального ведения учётных работ в системе государственного мониторинга, формируют новый уровень концептуальных решений и методических подходов в управлении популяциями охотничьих животных. Основные усовершенствования – автоматическая регистрация данных учёта с помощью программного приложения к мобильным электронным устройствам, повышающая скорость и комфортность проведения учёта, исключение ручной работы на этапе ввода данных учёта в программу расчётов, автоматическая обработка данных учёта, расчёт квоты добычи без использования оценки численности, возможность выбора стратегии квотирования. В технологии учёта использованы основные различия 2-х типов роста популяций видов: «зависящих» (лось, олени и др.) и «не зависящих» (белка, заяц-беляк и др.) от плотности. У первых устойчивое (логистическое) изменение с предсказуемой численностью, у вторых – быстрый рост по экспоненте или с фазами подъёма и спада в виде «пилы». Для квотирования добычи у видов-экспонентов применяется модель «годового излишка урожая», по которой норма согласуется с фазой цикла роста, скоростью роста и годом пика численности. У видов-логистиков при наращивании плотности применяется модель «устойчивого урожая», по которой квота корректируется на величину тренда с запозданием на 4 года, а после достижения оптимальной плотности рассчитывается по технологии «постоянного уровня добычи». Предложенные изменения исключают слабые звенья в существующем порядке мониторинга и квотирования, делают систему более профессиональной, повышают корректность оценок, возможность практического управления ресурсами охотничьих животных, эффективностью охотничьего хозяйства России в целом.

**Ключевые слова:** инновационные технологии, профессиональные исполнители, государственный мониторинг, периодичность учёта, автоматическая обработка, управление.

## Implementation of the new system of monitoring and setting quotas in census of state monitoring

V. M. Glushkov,  
B. M. Zhitkov Russian National Research Institute  
of Hunting and Animal Breeding,  
79 Preobrazhenskaya st., Kirov, Russia, 610000,  
e-mail: v.m.glushkov@yandex.ru

An amateur form of organization of accounting activities and methodological shortcomings have a negative impact on the state of hunting animals resources and management effectiveness. Methodical and technological innovation, the new system of monitoring and setting quotas will ensure the implementation of professional conduct of census work in the system of State monitoring, form a new stage of conceptual solution and methodological approaches in game animals populations management. Key improvements include registration of automatic data logging via software application for mobile electronic devices, which increases the speed and comfort of the account, with the exception of handwork at the stage of entering records in the calculations, program automatic processing of accounting data, calculation of quotas without estimating abundance, quota selection strategy opportunity. The technology of accounting is based on the main differences of 2 types of population growth: 1. «dependent» on the density (moose, deer and others); 2. «independent» on the density (squirrel, hare, etc.): the former shows sustainable (logistics) change with a predictable number, the latter shows rapid growth at an exponential rate, or with the phases of rise and fall in the «saw» form. For assignment of quotas for exponential-rate species the model of «the annual surplus of the yield» is applied, it helps to make the rate compatible with the phase of the growth cycle, growth rate, and the peak year. For species-logisticians at escalating density the model of «sustainable yield» is applied, according to that the quota is adjusted by the amount of the trend with a delay of 4 years, and after achieving optimal density it is calculated according to the «permanent production level» technology (PUD).

The amendments proposed eliminate the shortcomings in the existing procedure of monitoring and setting quotas, make the system more professional, improve the correctness of assessment, offer the possibility of practical management of game animals resources, contribute to hunting efficiency on the whole.

**Keywords:** innovative technologies, professional performers, state monitoring, the frequency of accounting, automatic processing, management.

Основные принципы нормирования добычи [1] сохранили свою актуальность, особенно в отношении хозяйственно-ценных и более уязвимых от охоты видов диких копытных животных [2]. Нерегулируемая охота на лося в прошлом привела к полному истреблению вида в Западной Европе [3], несколько позже, в начале XX в., вызвала глобальное сокращение ареала и численности лося в России [4]. Подобные последствия неумеренной охоты претерпели соболь и бобр [5, 6]. После выхода из кризиса и восстановления численности этих ценных видов и разрешения их добычи некоторое время состояние ресурсов не вызывало беспокойства. Более того, снижение спроса на меха ослабило пресс охоты на «пушные» виды, что способствовало росту их численности. Возросший интерес охотников к животным мясо-дичных видов, наоборот, увеличил на них пресс охоты. В условиях перестроечной неразберихи и плохой охраны животных применяемая система нормирования добычи постепенно вернулась в прежнее неэффективное состояние. Улучшению положения в деле управления ресурсами охотничьих животных должно было помочь создание государственного мониторинга [7], который «представляет собой систему регулярных наблюдений за распространением, численностью, физическим состоянием объектов животного мира, структурой, качеством и площадью среды их обитания» и является (п. 4) «основой для осуществления государственного управления в области охраны и использования объектов животного мира и среды их обитания». Однако возлагаемые на «систему» функции если и реализуются, то не в полную меру. Охрана, судя по растущему браконьерству [8, 9], неэффективна. Методика зимнего маршрутного учёта остаётся почти в первозданном виде более полувека, притом что необходимость поиска новых технологических решений, например способа эффективного расслоения выборки и изыскание параметра для замены пересчётного коэффициента, давно назрела. Из шести позиций, по которым на местах, в регионах требуется вести мониторинг, четыре – численность животных, распределение на территории, база данных, состояние ресур-

сов, характеризующееся уровнем плодовитости и заболеваемости, основаны на некорректных данных зимнего маршрутного учёта (ЗМУ), а два оставшихся показателя – площадь охотничьих угодий и состав растительности – берутся из экспликаций земельного и лесного фонда, в значительной степени устаревших под влиянием масштабной трансформации угодий. Оболотной дичи и редких видах в отчётах охотпользователей в большинстве случаев не идёт даже речи. Для стратегического планирования и принятия государственно-важных решений данные ЗМУ, по которым устанавливаются критикуемые охотниками и специалистами квоты сезонной добычи, большой ценности не представляют [10]. Множество субъективных ошибок вносит любительская форма организации учётных работ, создающая условия для сознательного завышения численности, мотивированного желанием получить завышенные квоты. Деструктивные результаты ведения мониторинга ресурсов охотничьих животных силами охотпользователей указывают на необходимость передачи его профессионалам в систему государственного мониторинга, нацеленную на формирование авторитетной, внушающей доверие базы данных, обеспечивающей ведение правильного хозяйствования и устойчивое состояние природных ресурсов. Основываясь на актуальности проблемы управления ресурсами охотничьих животных и имеющих место недостатках в осуществлении мониторинга и квотирования, как инструментах управления, предлагается обсудить в печати пути решения проблемы.

Цель данной статьи – показать целесообразность организационных и технологических изменений в деле учёта охотничьих животных и методические предпосылки для их реализации в системе государственного мониторинга.

### 1. Структура и функции новой системы мониторинга

В проекте «Система мониторинга ресурсов и определения квот сезонной добычи основных видов охотничьих животных для совершенствования охотпользования: Мониторинг и квотирование. Методика В.М. Глушкова», раз-

работываемом во ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. Б.М. Житкова с 2009 г. (за 3 г. до появления приказа МПР № 963), были изучены биологические, методические и технологические предпосылки реорганизации учётного дела в России, перевода его из любительской формы в производственную [11–13]. В данной статье использованы материалы указанного проекта, для краткости названного «новая система мониторинга». Согласно концепции новой системы мониторинга территориальной единицей учёта и квотирования служит не отдельное охотничье хозяйство, а административный район, в границах которого производятся учёты, рассчитываются оценки и параметры, создаётся база данных (рис. 1). Результаты передаются областному органу управления охотой для анализа и обобщения. Региональные материалы согласуются с федеральным ведомством, а уточнённые районные данные возвращаются территориальным службам. Ниже кратко изложен предлагаемый порядок реализации новой системы в системе «Государственного мониторинга», уполномоченного для осуществления функций по мониторингу и квотированию добычи охотничьих животных.

**1.1. Организация учётных работ.** В отличие от действующей в настоящее время общественной формы выполнения учётных работ силами охотников-любителей учёт по

новой технологии должен проводиться государственными региональными органами управления охотничьим хозяйством в лице специалистов территориальной службы каждого административного района. Учёт абсолютной численности предлагается проводить не ежегодно, а один раз в 5 лет, а получение относительных показателей с помощью анкетного опроса – ежегодно. Время проведения учётных работ определяется методикой: ЗМУ, как и раньше, в феврале (время, нежелательное по биологическим соображениям, но более удобное в технологическом плане), одновременно во всех районах региона, в короткий период (5–10 дней), каждый раз на одних и тех же маршрутах, в сопоставимых погодных условиях. Опросы методом анкетирования проводятся 2 раза в год: в октябре-ноябре и в феврале-марте. Охотпользователи проводят учёты в хозяйствах по личной инициативе независимо от государственного.

**1.2. Методика государственного учёта.**

В основу новой методики учёта положен метод ЗМУ [14, 15]. Обновлённая методика отличается тем, что структурирование выборочных данных производится по уровню линейной плотности для каждого учитываемого вида отдельно, с учётом особенностей пространственного распределения животных на территории. На этапе апробации методики использован отлаженный вариант программы обработки,

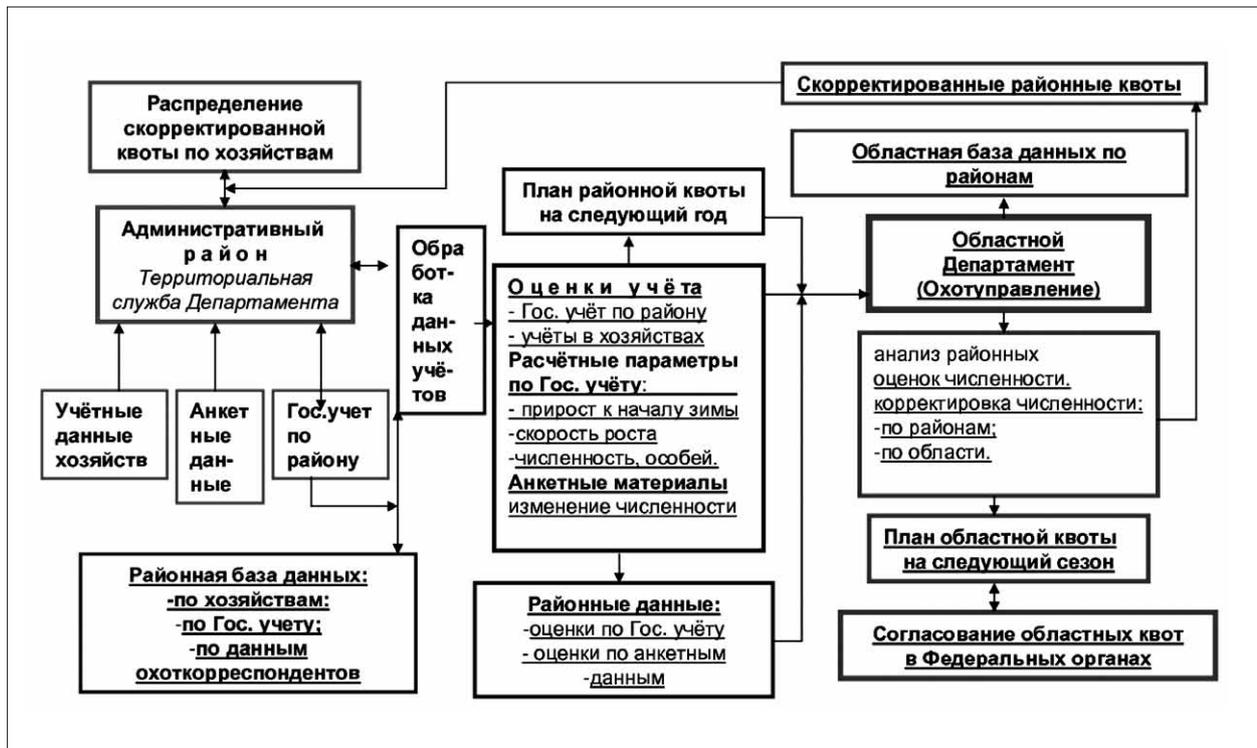


Рис. 1. Структура новой системы мониторинга ресурсов охотничьих животных

с помощью которого производится отбор оптимальных повидовых способов расслоения выборки и расчёта плотности.

В методике использованы технологические новшества, в частности:

- автоматическая регистрация данных с помощью программного приложения к мобильным электронным устройствам [16], повышающая скорость и комфортность проведения учёта;
- исключение ручной работы на этапе ввода данных учёта в программу расчётов, автоматическая обработка данных;
- определение квоты добычи, не опирающееся на оценку численности и норму добычи;
- возможность выбора стратегии квотирования по цели охотпользования.

Методика предназначена для осуществления государственного мониторинга, но также пригодна для учёта численности животных на территории отдельных охотничьих хозяйств.

**1.3. Технология учёта.** Учёт проводится в стандартизированных условиях, на постоянных маршрутах большой протяжённости, пригодных для проезда на автомашине или снегоходе. С помощью регистратора фиксируются: координаты начальной точки маршрута, населённых пунктов, точек встреч животных и их следов, а также количество особей в каждой встрече, в т. ч. молодых животных. Данные сохраняются в памяти регистратора до окончания работ, после чего статистически обрабатываются. Опросные данные собираются с помощью специально разработанных анкет, рассылаемых в определённые сроки специально подобранному контингенту охотников. Отдельно регистрируются и обрабатываются экспертные оценки исполнителей учётных работ и сотрудников охотничьих хозяйств.

**1.4. Место ЗМУ в системе государственного мониторинга.** ЗМУ и сбор анкетных материалов – основные методы мониторинга в зимний период. Данные ЗМУ определяют уровень плотности в год проведения учёта (год ревизии состояния ресурсов), а ежегодные относительные оценки показывают изменения уровня плотности в межревизионный период. Предлагаемая комбинация методов и периодичности учётов позволяет значительно экономить средства без ущерба базе данных и управлению ресурсами. Тренд численности, величина предшествующей квоты и состояние кормовой базы – главные параметры для оценки адекватности изъятия и корректировки действующей квоты добычи. Предлагаемая структура мониторинга унифицирует порядок его

ведения на территории отдельных регионов и в целом по стране, что отвечает задачам системы государственного мониторинга и способствует ведению и осуществлению государственного управления в области охраны и использования объектов животного мира и среды их обитания». К системе государственного мониторинга наряду с «зимними» видами относится также отслеживание состояния «летних» видов – водоплавающей и болотной дичи, околородных животных (норок, ондатры, бобра, выдры), животных, не активных зимой (сурка, барсук, медведя), а также выводков боровой дичи. Перечисленные виды учитываются с помощью специальных, видовых и «групповых» методов учёта, предусматривающих свою организацию, технологию и условия выполнения работ, что требует отдельного рассмотрения.

**1.5. Квотирование добычи.** На практике квота добычи охотничьих животных всех видов, независимо от типа роста численности (экспонентов и логистиков), рассчитывается по численности и норме добычи – параметрам, подверженным влиянию ошибок и транслирующим эти ошибки в виде неадекватного изъятия, колеблющихся квот, нарушения устойчивого возрастного распределения, снижения продуктивности и численности. По новому методу квота добычи, независимо от типа роста численности, на первые 2 сезона устанавливается по существующей норме добычи или экспертным путём. За это время у видов с колеблющимся типом роста определяется фаза и годовая скорость роста. В фазе роста нормой служит величина экспоненциальной годовой скорости роста, преобразованная в изолированное значение и увеличиваемая в первый год после пика численности в 1,5–2,0 раза. В фазе спада, со 2-го года после пика, планирование добычи не производится.

У животных видов-логистиков, в случае устойчивого отклонения тренда от 1 в течение 4 сезонов, начиная с 5-го сезона эксплуатации, квота корректируется по двум параметрам: предыдущей квоте и средней величине тренда численности (модель 1):

$$h_{t+1} = T_{sr} \cdot h_t \quad (1),$$

где  $h_{t+1}$  – плановая квота на следующий сезон охоты особей;  $h_t$  – квота прошедшего сезона охоты, особей;  $T_{sr}$  – средняя величина тренда численности за 4 года по всем параметрам численности, доли единицы.

После достижения популяцией оптимальной плотности планирование перево-

дится на технологию «постоянного уровня добычи» (ПУД) – с постоянной квотой. При эксплуатации по данной технологии в случае трендового снижения численности в течение четырёх лет, возможного из-за ошибок в оценках численности и незапланированных изменений уровня смертности от браконьерства и др. причин, а также кормовой ёмкости угодий (или всех факторов одновременно), с 5-го года квотирование временно переводится на модель 1. Этим учтены 2 основных принципа квотирования добычи животных-логистиков: не изменять квоту ежегодно, не рассчитывать квоту по норме добычи и численности. Квота, рассчитанная предложенным нами методом, учитывает тренд численности под влиянием рождаемости, пространственного перераспределения, всех факторов смертности. Расчёт квоты для района производится по данным государственного учёта. Заявки охотпользователей корректируются при необходимости в пределах общей районной квоты.

**2. Свойства видов животных с разным типом роста численности**

Не ежегодному проведению учётных работ по материальным мотивам способствуют и биологические предпосылки в виде различий в характере изменения численности животных разных видов. На вопрос: «Много ли нынче зверя в лесу?», – о лосе или медведе чаще отвечают: «Примерно столько же, что и

в прошлом году», тогда как о белке или зайце обычен ответ: «Нынче белки (зайца) много (мало)». В ответах заключена сущность 2-х разных типов роста численности охотничьих животных – устойчивый (логистический) с предсказуемой численностью у первых и колеблющийся (триггерный) с изменениями кратной величины у вторых [17]. Принципиальные различия в характере роста популяций у видов «зависящих» и «не зависящих» от плотности отмечены в работах известных отечественных и зарубежных экологов [18–23]. По [19–20] численность зайца-беляка растёт циклами средней продолжительности 7 лет, численность к сезону охоты может увеличиваться от 4,6 до 6,4 раза, а добыча до 2,5 раза в год. В фазе роста поголовье растёт, несмотря на более чем 2-кратное увеличение добычи. Характер роста численности определяется динамикой *природной* смертности, вызываемой зависимостью заражённости зверьков от их численности. Разная длительность циклов (рис. 2), от 5–6 лет на Северо-Западе России до 9 лет на Северо-Востоке, связана с различиями климата, определяющего обилие кормов и заражённость паразитами. Асинхронность циклов в отдельных очагах в пределах региона маскирует истинные значения экстремумов численности. Виды с триггерным типом роста обладают особыми популяционными свойствами [11, 17, 24]: *1) как в фазе роста, так и падения, за год происходит многократное изменение численности;*

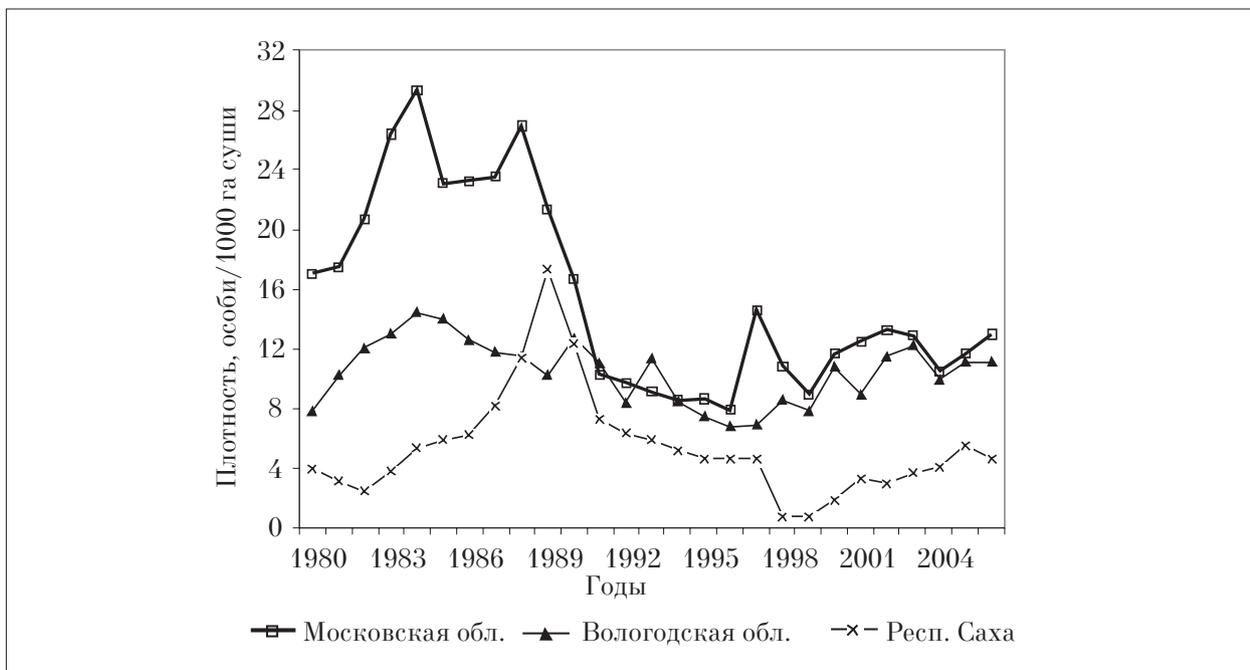


Рис. 2. Плотность популяций зайца-беляка

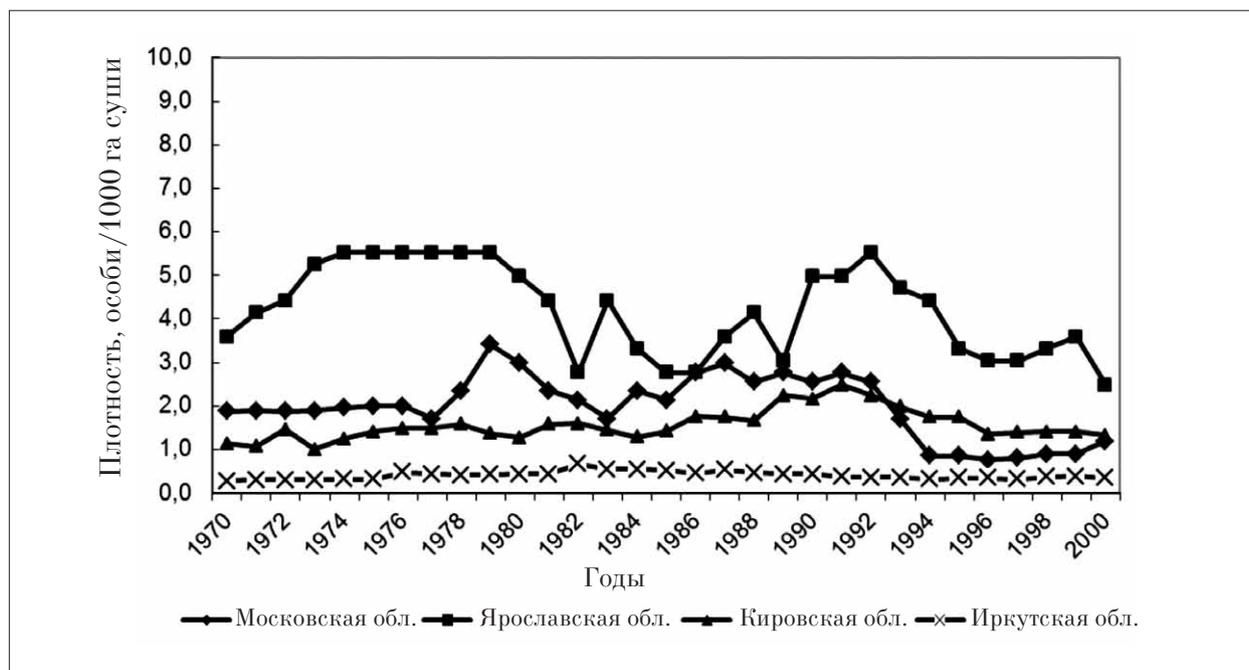


Рис. 3. Плотность популяций лося по данным ЗМУ

2) в основе сокращения численности лежат природные факторы смертности; 3) периоды роста и спада отличаются краткосрочностью; 4) восстановление численности после спада происходит быстро, естественным путём, не требующим специальных охранных и биотехнических мер. К видам животных с такими свойствами, кроме зайца и белки, могут быть отнесены ондатра, мелкие куницы, большинство куриных (полные списки видов не составлены). Указанные свойства показывают ненужность поголовного учёта и нормирования добычи, за исключением, может быть, особых видов охот (например, весной на токах). Мониторинг относительных показателей численности таких видов необходим для прогноза года пика численности с целью организации опромышления их ресурсов ввиду неизбежности массовой гибели после года пика [18]. Получаемые 1 раз в 5 лет методом ЗМУ абсолютные оценки плотности животных будут использоваться, кроме расчёта тренда и регулирования охоты, для уточнения «несмещённой оценки плотности» (в особях) по индексам плотности, применяемым для относительной оценки численности в межревизионный период.

У животных с устойчивым типом роста, к которым, кроме лося, можно отнести почти все остальные виды оленых, медведя, бобра (полный список требует уточнения), численность изменяется незаметно, так как пополнение за счёт размножения занимает

меньшую часть популяции, а взрослая часть стада относительно мало подвержена смертности от природных факторов [21]. Этот устойчивый, с предсказуемым трендом, рост численности принято называть логистическим. Ежегодные изменения абсолютной численности копытных, судя по учётам в начале зимы, невелики и находятся в пределах ошибки методов учёта и величины изменения добычи. Более выраженные колебания оценок учётов во второй половине зимы (рис. 3) вызваны относительными изменениями в виде пространственного перераспределения из-за колеблющейся по годам интенсивности миграций [25]. Общими чертами для популяций с логистическим типом роста являются: 1) медленный, внешне незаметный рост популяции; 2) антропогенные факторы (смертность от охоты), лежащие в основе сокращения численности; 3) большая продолжительность периодов роста и спада; 4) медленное восстановление численности, требующее специальных охранных и биотехнических мер. Существование таких животных в значительной степени зависит от интенсивности охоты, охраны и биотехнии. Более тщательные мониторинг и квотирование добычи как наиболее доступный способ регулирования величины смертности имеют для управления ресурсами животных с логистическим типом роста важнейшее значение.

Под тщательным мониторингом понимается, наряду с проведением учётов абсолют-

ной численности, необходимость ежегодного получения анкетных данных по величине прироста к сезону охоты и оценок относительной численности (по состоянию на февраль-март), по которым рассчитываются величина прироста к началу зимы, годовая скорость роста и тренд абсолютной численности.

### Заключение

Учреждённая приказом МПР РФ система государственного мониторинга не в полную меру реализует свои функции в области охраны, мониторинга и квотирования добычи охотничьих животных. Неэффективность работы системы обусловлена, в частности, недостатками методов учёта численности субъективного и системного характера, а также любительской формой организации учётных работ, создающей условия для искажения учётных данных. По некорректным данным учёта составляются отчёты о состоянии ресурсов, рассчитываются неадекватные квоты добычи. Среда обитания характеризуется устаревшими данными экспликаций земельного и лесного фонда, что служит дополнительным источником ошибок в оценках численности. Ошибочные оценки численности и квоты негативно влияют на качество управления, хозяйственную деятельность и в конечном итоге на состояние ресурсов. Усовершенствованная технология и организация учётных работ создаёт условия для выполнения большого объёма работ ограниченным числом исполнителей и получения сопоставимых по годам результатов, а инновации в методах обработки данных учёта предполагают получение более качественных оценок численности. Новая концепция мониторинга снижает объём и стоимость ежегодно проводимых работ, унифицирует порядок их проведения на территории отдельных регионов и в целом по стране, способствуя этим выполнению учётных работ ограниченным кругом специалистов системы государственного мониторинга без привлечения многотысячной армии любителей. Новая стратегия планирования добычи учитывает основные популяционные свойства видов, обеспечивая этим большую адекватность применяемых квот добычи реальному состоянию ресурсов. Предложенные изменения исключают часть слабых звеньев в существующем порядке мониторинга и квотирования, делают систему более профессиональной, корректной, повышают возможности управления ресурсами охотничьих животных, эффективность

охотничьего хозяйства России в целом, что соответствует интересам государства в деле стратегического и тактического планирования природопользования.

По мере реализации проекта предстоит уточнение видового состава групп с разным типом роста популяций, расширение списка видовых индексов плотности и методов их регистрации, а также принятие административных решений по организации практической учётной работы.

### Литература

1. Соловьёв Ф.К. Промысел копытных зверей и лесной дичи в России // Ежегодник Всероссийского союза охотников. М., 1922. С. 53–73.
2. Наумов Н.П., Никольский Г.В. О некоторых общих закономерностях динамики популяций животных // Зоологич. ж-л. 1962. Т. 41. Вып. 8. С. 1132–1141.
3. Верещагин Н.К. Геологическая история лося и его освоение первобытным человеком // Биология и промысел лося. М., 1967. Сб. 3. С. 3–37.
4. Кириков С.В. Изменения животного мира в природных зонах СССР (XIII–XIX вв.). Лесная зона и лесотундра. М., 1960. 157 с.
5. Юргенсон П.Б. Соболь // Млекопитающие Советского Союза. Т.2. Высшая школа. М., 1967. С. 507–553.
6. Лавров Н.П. Речные бобры – *Castor* / Биология промыслово-охотничьих зверей СССР: Высшая школа. 1979. С. 234–246.
7. Приказ МПР РФ от 22 декабря 2011 г. N 963 г. «Об утверждении Порядка ведения государственного учёта, государственного кадастра и государственного мониторинга объектов животного мира».
8. Глушков В. М. Чёрная дыра, в которую утекают ресурсы, труд охотоведов и надежды охотников / ОХОТА. Национальный охотничий журнал. 2012. № 4. С. 2–5.
9. Глушков В. М. Незаконная добыча лося в России: взгляд изнутри / Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства: II Международная научно-практическая конференция (28–31 октября 2014 г.). Иркутск, 2014. С. 49–61.
10. Целыхова Е.К. ЗМУ: всероссийская подстава? Российская охотн. газета. 2015. № 14.
11. Глушков В.М. Типы роста популяций охотничьих животных, стратегия мониторинга ресурсов и квотирования добычи // Межрегиональная научно-практическая конференция «Современное состояние охотничьего хозяйства Курганской области. Проблемы и пути их решения». 30 июля 2009 г. Курган, 2009. С. 4–5.
12. Глушков В. М. Мониторинг ресурсов и квотирование добычи – нужна новая система. ОХОТА. Национальный охотничий журнал. 2011. № 3. С. 2–5.

13. Глушков В. М. Система мониторинга ресурсов и определения квот сезонной добычи основных видов охотничьих животных для совершенствования охотпользования / Мониторинг и квотирование. Методика В.М. Глушкова / Региональные проблемы государственного управления охраной и использованием животного мира: Информационный бюллетень. Вып. 46 (3 апреля 2014 г.). 37 с. [Электронный ресурс]. Форма доступа: spm-bulletin@yandex.ru.

14. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учёта охотничьих животных в России. М. ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 55 с.

15. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учёта охотничьих животных в России. М.: ФГНУ «Центрохотконтроль», 2012. 50 с.

16. Глушков В.М., Рослякова А.В. Программа регистрации данных учёта охотничьих животных: Свидетельство гос. регистрации № 2015617348. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ – 08.07.2015 г.

17. Глушков В.М. Типы роста популяций и стратегия мониторинга ресурсов охотничьих животных // Современные проблемы природопользования, охотведения и звероводства / Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию ВНИИОЗ. Киров, 2007. С. 87–88.

18. Формозов А.Н. Колебания численности промысловых животных. М.-Л.: КОИЗ. 1935. 108 с.

19. Наумов С. П. Половой цикл и плодовитость зайца-беляка // Тр. Центр. Лаб. биологии и охотничьего промысла Наркомзага СССР. Вып. 6. М. 1944. С. 4–44.

20. Наумов С.П. Экология зайца-беляка / Материалы познания фауны и флоры СССР: нов. серия зоол. отд. Вып. 10 (25). МОИП, 1947. 207 с.

21. Наумов Н. П. Экология животных. М.: 1963. 617 с.

22. Макфедьен Э. Экология животных. М.: Мир, 1965. 375 с.

23. Одум Ю. Экология. М.: 1986. Ч. 1. 328 с. Ч. 2. 376 с.

24. Глушков В. М. Дифференцированный подход к управлению популяциями животных с разным типом роста численности // Зоологические и охотоведческие исследования в Казахстане и сопредельных странах / Материалы Международной конференции, посвящённой 100-летию академика А.А. Слудского (1–2 марта 2012 г.). Алматы, 2012. С. 293–295

25. Глушков В. М. Лось. Экология и управление популяциями. ВНИИОЗ: РАСХН. Киров, 2001. 317 с.

2. Naumov N.P., Nikolskiy G.V. On some general regularities of the dynamics of animal populations // Zoologich. zh-l. 1962. T. 41. Vip. 8. P. 1132–1141. (in Russian)

3. Vereshchagin N.K. The geological history of the moose and its development by primitive man // Biologiya i promysel losya. M., 1967. Sb. 3. P. 3–37. (in Russian)

4. Kirikov S.V. Changes in wildlife in natural areas of the USSR (XIII–XIX centuries.). Forest area and forest tundra. M., 1960. 157 p. (in Russian)

5. Jurgenson P.B. Sable // Mlekopitayushchiye Sovetskogo Soyuza. V. 2. Vyschaya skola. M., 1967. P. 507–553. (in Russian)

6. Lavrov N.P. Beaver – Castor / Biologiya promislovo-okhotnichikh zverey v SSSR. Vyschaya shkola. 1979. P. 234–246. (in Russian)

7. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of December 22, 2011, N 963 «On Approval of the Procedure of conducting the state registration, state cadastre and state monitoring of wildlife». (in Russian)

8. Glushkov V.M. Black hole, in which resources, labor and hope of Game Hunter disappear / OKHOTA. Natsionalnyy Okhotnichiy Zhurnal. № 4. 2012. P. 2–5. (in Russian)

9. Glushkov V.M. Illegal extraction of moose in Russia: A Look Inside / Gumanitarnyye aspekty okhoty i okhotnichyego hozyaystva: II Mezhdunarodnaya nauchno-practicheskaya konferentsiya (Oct. 28–31, 2014). Irkutsk, 2014. P. 49–61. (in Russian)

10. Tselykhova E.K. SCM: All-Russian a setup? Russiyskaya okhotn. gazeta. 2015. № 14. (in Russian)

11. Glushkov V.M. Types of growth of game populations, resource monitoring strategy and production quotas // Mezhr regionalnaya nauchno-practicheskaya konferentsiya «Sovremennoye sostoyaniye okhotnichyego khozyaystva v Kurganskoy oblasti. Problemy i puti ikh resheniya». July 30, 2009. Kurgan, 2009. P. 4–5. (in Russian)

12. Glushkov V.M. Monitoring resources and production quotas – we need a new system. OKHOTA. Natsionalnyy Okhotnichiy Zhurnal. № 3. 2011. P. 2–5. (in Russian)

13. Glushkov V.M. Resource monitoring system and determination of the seasonal production quotas for the main species of game animals for improving hunting management / Monitoring i kvotirovaniye. Methodika V.M. Glushkova / Regionalnyye problemy gosudarstvennogo upravleniya okhrany i ispolzovaniyem zhiivotnogo mira: Informatsionnyy bulletin. Vip. 46 (3 Apr. 2014). P. 37. [Electronic resource]. Form of access: spm-bulletin@yandex.ru. (in Russian)

14. Guidelines to organization, conduct and data processing winter route accounting of game animals in Russia / M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2009. 55 p. (in Russian)

15. Guidelines for the organization, conduct and data processing winter route accounting of game animals in Russia. M.: FGNU «Tsentr okhotkontrol», 2012. 50 p. (in Russian)

## References

1. Solovyev F.K. Trade for hoofed animals and forest game in Russia // Ezhegodnik soyuza okhotnikov. M., 1922. P. 53–73. (in Russian)

16. Glushkov V.M., Roslyakova A.V. Program of game animals number registration: Svidetelstvo gosregistratsii № 2015617348. Data gosudarstvennoy registratsii v reyestre programm dlya EVM – 08.07.2015. (in Russian)
17. Glushkov V.M. Population growth types and strategies of hunting animals resources monitoring // *Sovremennyye problemy prirodopolzovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva. / Materialy mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii posvyashchennoy 85-letiyu VNIIOZ. Kirov, 2007. P. 87–88. (in Russian)*
18. Formozov A.N. Fluctuations in the number of game animals. M.-L.: KOIZ. 1935. 108 p. (in Russian)
19. Naumov S.P. Sexual cycle and fertility of hare // *Tr. Tsent. Lab. Biologii i okhotnichyego promysla Narodnaya SSSR. Vip. 6. M., 1944. P. 4–44. (in Russian)*
20. Naumov S.P. Ecology of hare / *Materialy poznaniya fauny i flory SSSR: nov. seriya zool. otd. Vyp. 10 (25). MOIP, 1947. 207 p. (in Russian)*
21. Naumov N.P. *Animal Ecology. M. 1963. 617 p. (in Russian)*
22. Makfeden E. *Animal Ecology. M.: Mir, 1965. 375 p. (in Russian)*
23. Odum Yu. *Ecology. M.: 1986. Ch. 1. 328 p. Ch. 2. 376 p. (in Russian)*
24. Glushkov V.M. Differentiated approach to the management of animal populations with a different type of population growth // *Zoologicheskiye i okhotovedchestviye issledovaniya v Kazakhstane i sopredelnykh stranakh: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii posvyashchennoy 100-letiyu akademika A.A. Sludskogo (1–2 Mar. 2012). Almaty, 2012. P. 293–295. (in Russian)*
25. Glushkov V.M. *Moose. Ecology and population management. VNIIOZ: RAAS. Kirov, 2001. 317 p. (in Russian)*

УДК 543 + 547.992

## Детоксицирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к Cd (II), Pb (II), Cu (II)

© 2016. С. П. Ли<sup>1</sup>, доцент, Б. М. Худайбергенова<sup>2</sup>, в. н. с.,  
З. М. Пулатова<sup>3</sup>, с. н. с., В. А. Прохоренко<sup>3</sup>, с. н. с.,  
<sup>1</sup>Кыргызский национальный университет,  
720033, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Фрунзе, д. 547,  
<sup>2</sup>Институт биотехнологии НАН КР,  
720071, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, д. 265,  
<sup>3</sup>Институт химии и химической технологии НАН КР,  
720071, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чуй, д. 267,  
e-mail: liserey@mail.ru, bermet66@gmail.com

Представлены данные по получению и использованию модифицированных гуминовых кислот – криоструктурированных, гиматомелановых, формилированных, оксигуминовых, азотпроизводных, фульвокислот в качестве детоксицирующих агентов по отношению к Cd (II), Pb (II), Cu (II) в вегетационных экспериментах с *Latuca sativa* L. Синтезированные гуминовые препараты оказывают стимулирующее действие на урожайность салата. В присутствии тяжёлых металлов модифицированные препараты оказывают различное детоксицирующее влияние на Cd (II), Pb (II) и Cu (II), соответствующее их средству к указанным металлам согласно величинам констант устойчивости образующихся между ними комплексов.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, модификация, тяжёлые металлы, детоксицирующая способность.

## Detoxifying properties of humic preparations with respect to Cd (II), Pb (II), Cu (II)

S. P. Li<sup>1</sup>, B. M. Khudaybergenova<sup>2</sup>,  
Z. M. Pulatova<sup>3</sup>, V. A. Prokhorenko<sup>3</sup>,  
<sup>1</sup>Kyrgyz National University,  
547 Frunze st., Bishkek, Kyrgyzstan, 720033,  
<sup>2</sup>Institute of Biotechnology, NAS KR,  
265 Chui avenue, Bishkek, Kyrgyzstan, 720071,  
<sup>3</sup>Institute of Chemistry and Chemical Technology, NAS KR,  
267 Chui avenue, Bishkek, Kyrgyzstan, 720071,  
e-mail: liserey@mail.ru, bermet66@gmail.com

The complexing properties of humic substances are of primary importance for their application as detoxifying agents. The promising approach for enhancing solubility and detoxication potential of metal-humics complexes is incorporation of various groups into the structure of humics. The enriched humic materials can be used as flushing agents for heavy metal polluted sites and as chelating agents for production of microfertilizers. The objectives of this study are: 1) to synthesize a set of humic materials (cryostructured, humatomelanic, formilated, oxyhumic, N-reached and fulvic acids); 2) to assess potential toxicity and detoxifying properties of the humic derivatives with respect to Cd (II), Pb (II), Cu (II). Humic acids (HA) from oxidized brown coal were used for modification. Assessment of the toxicity of the derivatives obtained and of their detoxifying properties was performed using vegetative experiments with *Latuca sativa* L. The humic derivatives did not exhibit adverse effects onto lettuce. Both parent and modified humic materials displayed high detoxifying properties with respect to heavy metals. So, the detoxification effects of the oxyhumic, fulvic and cryostructured humic materials are slightly stronger as compared to those of the parent materials. A decrease in detoxifying effect is much bigger for Cd(II) and Pb(II), than for Cu(II). The lower detoxifying efficiency of the humic derivatives compared to the parent material corroborates well the data on metal-binding properties of the humics with respect to Pb(II), Cd(II), Cu(II). The obtained results allow to consider modification as a promising tool for obtaining soluble metal-HA complexes.

**Keywords:** humic acids, modification, heavy metals, detoxifying ability.

Уникальные свойства гуминовых веществ (ГВ), такие как нетоксичность, биосовместимость, устойчивость и обуславливающая высокие комплексообразующие свойства полифункциональность [1], определяют их потенциал для использования в качестве детоксицирующих агентов и микроудобрений. При этом рекомендуемые дозы ГВ не оказывают токсического действия на биоту. Протекторное действие гуминовых веществ объясняют, как правило, образованием нетоксичных и недоступных для живых организмов комплексов с экотоксикантами, что подтверждается данными по снижению биоаккумуляции токсичных элементов водными организмами в присутствии ГВ [2, 3]. Положительный эффект ГВ в ряде случаев обеспечивается и за счёт стимуляции функционирования биоты [4, 5].

Однако широкое использование гуминовых веществ ограничивается их нестехиометричностью и гетерогенностью ввиду отсутствия генетического кода при их образовании, что требует направленного регулирования структуры ГВ путём их модификации. Известно, что функционально обогащённые гуминовые вещества обладают большей связывающей и детоксицирующей способностью по отношению к тяжёлым металлам (ТМ) [6]. В зависимости от типа экотоксикантов требования к модификации ГВ могут существенно меняться, поэтому исследование структуры и детоксицирующих свойств модифицированных гуминовых кислот (ГК) является необходимым условием успешного решения проблемы выбора наиболее подходящих производных в качестве детоксицирующих агентов. В частности, для рекультивационных технологий наиболее важными свойствами ГВ являются комплексообразующие свойства [7], обусловленные присутствием карбоксильных и гидроксильных групп, ответственных за хелатирующее действие ГВ по отношению к ТМ. Поэтому можно ожидать усиления хелатирующих свойств ГВ по мере их обогащения различными функциональными фрагментами.

Цель настоящего исследования – показать, какие стратегии модифицирования гуминовых кислот приводят к получению производных с низкой токсичностью и наиболее ярко выраженной детоксицирующей способностью по отношению к Cd (II), Pb (II) и Cu (II) в условиях вегетационных экспериментов с *Latuca sativa* L.

### Материалы и методы исследования

В работе использован ряд гуминовых препаратов (ГП): исходные ГК, выделенные

из окисленного бурого угля (Кара-Кече, Кыргызстан), и их модифицированные производные – криоструктурированные гуминовые кислоты (КГК), полученные путём пятикратного замораживания исходных ГК при  $-40^{\circ}\text{C}$  с последующим размораживанием при  $20^{\circ}\text{C}$ ; гиматомелановые кислоты (ГМК), выделенные из ГК экстракцией 96%-ным этанолом; формилированные гуминовые кислоты (ФГК), полученные из ГК по реакции Гаттермана-Коха; оксигуминовые кислоты (ОГК), полученные из продуктов окисления ГК перманганатом калия экстрагированием метилэтилкетонном; азотпроизводные гуминовые кислоты (АГК), полученные взаимодействием ГК с *n*-фенилендиамидом; фульвокислоты (ФК) – водорастворимая фракция.

Содержание углерода, водорода и азота в образцах определяли на анализаторе «Карло Эрба», серы – согласно ГОСТ 30404-2000, содержание карбоксильных групп – кальций-ацетатным методом, фенольных групп – методом ацетилирования, карбонильных групп – по реакции с фенилгидразином солянокислым [8].

Вегетационные эксперименты проведены с семенами салата *Latuca sativa* L. на керамзите (d гранул – 2,0–3,0 мм, объёмная масса (гранулированный) – 0,59 г/см<sup>3</sup>) с применением питательных растворов. Состав питательных растворов, мг-экв/л: по 3 – NaNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 2 – KNO<sub>3</sub>, 6 – Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 1 – MgSO<sub>4</sub>, 0,5 – CaSO<sub>4</sub>. В качестве токсикантов, использованы CdSO<sub>4</sub>, PbSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub> соответственно, детоксициантов – модифицированные препараты ГК, тест-отклика – масса наземной сухой биомассы салата. В вегетационные сосуды (d – 15 см, h – 10 см) помещали 100 г керамзита, в которые при тщательном перемешивании вливали 200 мл водных растворов металлов различных концентраций: 0,2; 0,5; 0,75; 1,0 и 1,25 мг/л. При этом содержание ионов металлов в керамзите составило 4, 10, 15, 20 и 25 мг/кг. Гуминовые препараты вносили в количестве, соответствующем следующим концентрациям в растворе: 5, 10, 50 и 100 мг/л. В сосуды помещали пророщенные семена салата в количестве 20 штук на сосуд. Продолжительность выращивания – 30 дней, освещение – естественное.

Для количественной оценки детоксицирующей способности гуминовых препаратов рассчитаны коэффициенты детоксикации (D) [6].

$$D = 1 - \frac{R_d - R_{d+t}}{R_d} \cdot \frac{R_0 - R_t}{R_0}, \quad (1)$$

где  $R_0$  – отклик контроля,  $R_d$  – отклик в присутствии ГП,  $R_t$  – отклик в присутствии

токсиканта,  $R_{d+1}$  – отклик в присутствии токсиканта и ГП.

На основе значений  $D$  рассчитаны константы детоксикации ионов металлов гуминовыми препаратами, нормализованные к содержанию органического углерода в ГП,  $K_{OC}^D$  с использованием уравнения (2):

$$D = \frac{K_{OC}^D \cdot C_{ГП}}{1 + K_{OC}^D \cdot C_{ГП}}, \quad (2)$$

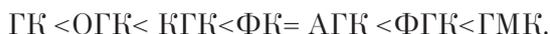
где  $C_{ГП}$  – концентрация гуминового препарата.

Полученные значения  $K_{OC}^D$  в дальнейшем использованы для сравнения детоксицирующей способности различных гуминовых препаратов по отношению к металлам.

### Результаты исследования

Согласно данным элементного анализа (табл. 1), наиболее обуглероженными являются образцы исходных гуминовых кислот (63,9%), криоструктурированных (63,7%) и окисленных ГК (63,8%).

Соотношение С/Н, характеризующее степень ненасыщенности ГК, т. е. содержание алифатических фрагментов, для изучаемых препаратов изменяется в ряду:



Высокие значения С/О (степени окисленности) для образцов АК, ФК и ОГК указывают на значительный вклад О-содержащих функциональных групп, а также периферических фрагментов в структуру этих ГП. Результаты элементного анализа и рассчитанные значения степени восстановленности ( $\omega$ ) указывают на низкую восстановленность ОГК и ФК по сравнению с другими ГП, в частности, с наиболее восстановленными ГМК ( $\omega = -0,29$ ).

Результаты исследований по определению концентрации функциональных групп, в частности кислотных групп, определяющих реакционную способность, а также распределения кислорода по структурным фрагментам ГП (табл. 2) показывают, что от 17 до 45 % кислорода в исследуемых ГП распределено между тремя типами групп: -COOH, -OH, -C=O. Доля кислорода, входящего в состав этих групп, значительно выше для препаратов ОГК и ФК по сравнению с другими ГП.

Данные по дозозависимому отклику ионов металлов Cd (II), Pb (II), Cu (II) (рис. 1) в вегетационных экспериментах показывают, что при увеличении их концентрации в растворе наблюдается снижение веса сухой массы салата. Так, при концентрации металлов 1,25 мг/л снижение веса достигает ~20 %.

Синтезированные гуминовые препараты оказывают стимулирующее действие на уро-

Таблица 1

Содержание элементов на беззольную пробу (% масс.) и их атомные соотношения в ГП

Препарат	Зольность, %	C	H	N	S	O	C/H	C/O	$\omega$
ГК	5,10	63,93	4,07	1,17	0,33	30,50	0,76	0,32	-0,05
КГК	4,85	63,70	4,17	1,17	0,33	30,73	0,78	0,36	-0,06
ФГК	4,73	63,90	4,62	1,0	0,30	31,18	0,86	0,35	-0,15
ГМК	0,55	63,32	5,30	0,70	0,30	30,17	1,00	0,35	-0,29
АК	4,60	60,30	4,20	4,80	0,28	30,47	0,83	0,37	-0,08
ОГК	3,16	63,80	4,10	0,82	0,01	31,27	0,77	0,36	-0,04
ФК	4,40	61,62	4,27	1,05	0,30	32,76	0,83	0,39	-0,03

Таблица 2

Содержание кислотных групп и распределение кислорода между функциональными группами в синтезированных ГП, %

Препарат	-COOH	-Ar-OH	-C=O	Распределение кислорода между функциональными группами, %		
				-COOH	-Ar-OH	-C=O
ГК	22,50	4,08	4,02	17,18	4,54	2,29
КГК	24,03	4,69	4,48	17,04	4,41	2,55
ФГК	24,21	4,83	5,17	15,97	3,83	2,94
ГМК	26,15	3,29	4,56	18,57	3,09	2,59
АК	15,39	4,08	4,02	10,92	3,83	2,29
ОГК	38,34	6,94	19,48	27,22	6,52	11,10
ФК	24,30	6,63	3,92	17,25	6,23	2,23

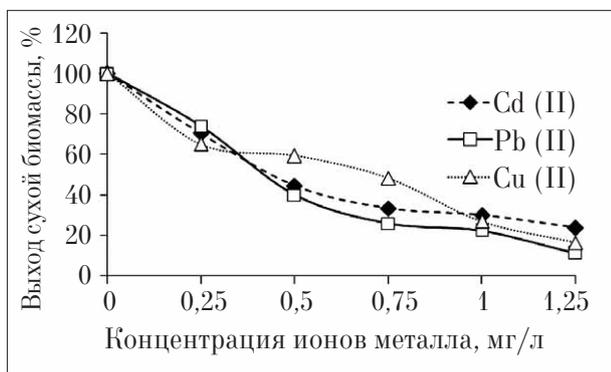


Рис. 1. Влияние ионов металлов на выход биомассы

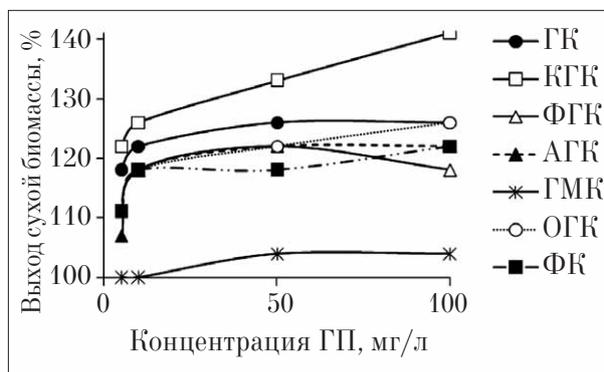


Рис. 2. Влияние гуминовых препаратов на выход биомассы салата

Таблица 3

Влияние ионов металлов на выход сухой биомассы *Latuca sativa L.*

Варианты эксперимента	Сухая биомасса, мг/см <sup>3</sup>	% от контроля	Коэффициент вариации, %
Контроль	0,27	100	6,8
<b>Токсикант – Cd (II)</b>			
Контроль+токсикант (доза – 0,25 мг/л)	0,19	70,30	6,0
Контроль+токсикант (доза – 0,50 мг/л)	0,12	44,44	6,2
Контроль+токсикант (доза – 0,75 мг/л)	0,09	33,33	6,2
Контроль+токсикант (доза – 1,00 мг/л)	0,07	25,92	6,0
Контроль+токсикант (доза – 1,25 мг/л)	0,04	–	6,9
<b>Токсикант – Pb (II)</b>			
Контроль+токсикант (доза – 0,25 мг/л)	0,20	74,00	6,9
Контроль+токсикант (доза – 0,50 мг/л)	0,11	40,00	6,0
Контроль+токсикант (доза – 0,75 мг/л)	0,07	25,92	6,0
Контроль+токсикант (доза – 1,00 мг/л)	0,06	22,22	6,2
Контроль+токсикант (доза – 1,25 мг/л)	0,03	11,10	6,2
<b>Токсикант – Cu (II)</b>			
Контроль+токсикант (доза – 0,50 мг/л)	0,016	59,28	5,8
Контроль+токсикант (доза – 0,75 мг/л)	0,13	48,14	5,9
Контроль+токсикант (доза – 1,00 мг/л)	0,08	26,92	6,5

Примечание: количество растений – 6, контроль – керамзит + питательная среда. Прочерк означает, что показатель не определяли.

жайность салата. Повышение концентрации ГП в тестовых системах вызывает увеличение выхода сухой биомассы *Latuca sativa L.* (рис. 2).

Использование гуминовых препаратов в тестах с металлами показало достоверное снижение токсического воздействия тяжёлых металлов (рис. 3), так, в присутствии отдельных образцов ГП в концентрации 50 мг/л выход сухой биомассы салата, который под воздействием Cd (II) снижался до 44,4 % от контроля, повышается от 71 до 82 %. Смягчающий эффект ГП чётко проявляется также в опытах с Pb (II), Cu (II) (табл. 3).

С повышением концентрации ГП в присутствии токсиканта выход сухой биомассы салата увеличивается (табл. 3), однако полной

детоксикации достичь не удаётся, так как связывание ионов металлов с ГП протекает обратимо. Другими словами, в системе всегда имеется токсикант в свободной форме, что предотвращает возможность полной детоксикации.

Модифицированные препараты оказывают различное детоксицирующее влияние на Cd (II), Pb (II) и Cu (II) в условиях вегетационных экспериментов с *Latuca sativa L.* (табл. 4).

На основе рассчитанных значений  $D$  и  $K_{OC}^D$  (табл. 4), характеризующих детоксицирующую способность по отношению к Cu (II), Pb (II), Cd (II), гуминовые препараты можно расположить в ряд:

$$ОГК > ФК > КГК \geq ГК > ФГК > АГК > ГМК,$$

Таблица 4

Коэффициенты и константы детоксикации металлов гуминовыми препаратами (концентрация ионов металлов – 0,5 мг/л, ГП – 50 мг/л)

Препарат	Cd (II)		Pb (II)		Cu (II)	
	D	$lg K_{OC}^D$ , л/кг С	D	$lg K_{OC}^D$ , л/кг С	D	$lg K_{OC}^D$ , л/кг С
ГК	0,30	4,13	0,35	4,23	0,36	4,25
КГК	0,30	4,12	0,36	4,25	0,36	4,25
ФГК	0,29	4,11	0,33	4,19	0,34	4,21
АГК	0,28	4,09	0,28	4,09	0,30	4,13
ГМК	0,26	4,07	0,28	4,08	0,27	4,06
ОГК	<b>0,40</b>	<b>4,34</b>	<b>0,40</b>	<b>4,34</b>	<b>0,44</b>	<b>4,42</b>
ФК	<b>0,34</b>	<b>4,23</b>	<b>0,37</b>	<b>4,29</b>	<b>0,42</b>	<b>4,38</b>

Примечание: жирным шрифтом выделены наиболее значимые результаты.

соответствующий возрастанию их средства к указанным металлам согласно величинам констант устойчивости образующихся между ними комплексов [9, 10].

### Заключение

Полученные результаты позволяют рассматривать модификацию ГК путём обогащения различными функциональными группами в качестве перспективного инструмента для получения растворимых комплексов гуминовых производных с металлами. Модификация ГК приводит к образованию устойчивых комплексов гуминовых производных с ионами металлов, что в конечном итоге проявляется в эффективной детоксикации последних. Препараты ОГК, ФК и КГК вызывают увеличение детоксикации по сравнению с исходными гуминовыми кислотами по отношению к Pb (II), Cd (II), Cu (II). Кроме того, модификация ГК не индуцирует токсичность соответствующих производных. Полученные данные по детоксицирующим свойствам модифицированных гуминовых кислот позволяют выбрать тип модификации для разработки детоксицирующих агентов комплексного действия, способных связывать экотоксиканты различной химической природы, с одной стороны, и стимулировать рост растений в условиях химического стресса – с другой.

### Литература

1. Жоробекова Ш.Ж. Макролигандные свойства гуминовых кислот. Фрунзе: Илим, 1987. 196 с.
2. Perminova I.V., Kovalenko A., Schmitt-Kopplin P., Hatfield K., Hertkorn N., Belyaeva E.Y., Petrosyan V.S. Design of quinonoid-enriched humic materials with

enhanced redox properties // Environmental Science and Technology. 2005. Vol. 39. No. 21. P. 8518–8524.

3. Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж., Акулова М., Топильская О.М., Терехова В.А. Экспериментальная характеристика ремедиационных свойств гуминовых препаратов разного генезиса по фону загрязнения почв медью // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 94–99.

4. Пукальчик М. А., Терехова В.А. Экотоксикологическая оценка городских почв и детоксицирующего эффекта наноконпозиционного препарата // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2012. № 4. С. 26–31.

5. Канискин М.А., Изосимов А.А., Терехова В.А., Якименко О.С., Пукальчик М.А. Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 86–93.

6. Perminova I.V., Grechishcheva N.Yu., Kovalevskii D.V., Kudryavtsev A.V., Matorin D.N., Petrosyan V.S. Quantification and prediction of detoxifying properties of humic substances to polycyclic aromatic hydrocarbons related to chemical binding // Environ. Sci. Technol. 2001. 35. P. 3841–3848.

7. Gerse R., Csicsor J., Pinter L. Application of humic acids and their derivatives in environmental pollution control. In: Humic Substances in the Global Environment and Implication for Human Health. Elsevier Science B.V., New York, 1994. P. 1297–1303.

8. Жоробекова Ш.Ж., Королева Р.П. Методы анализа гуминовых веществ. Бишкек: Илим, 2011. 160 с.

9. IUPAC Stability constants data base (computer edition). IUPAC and Academic Software, 1997. 2000 p.

10. Ли С.П. Модифицированные гуминовые препараты детоксицирующего назначения. Бишкек: Илим, 2015. С. 213–216.

### References

1. Zhorobekova Sh.Zh. Macromolecular properties of the humic acids. Frunze: Ilim, 1987. 196 p. (in Russian)

2. Perminova I.V., Kovalenko A., Schmitt-Kopplin P., Hatfield K., Hertkorn N., Belyaeva E.Y., Petrosyan V.S. Design of quinonoid-enriched humic materials with enhanced redox properties // *Environmental Science and Technology*. 2005. Vol. 39. No. 21. P. 8518–8524.
3. Kydraliyeva K.A., Zhorobekova Sh.Zh., Akulova M., Topilskaya O.M., Terekhova V.A. Experimental characterization of remediation properties of different humic preparations in copper contaminated soil // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015. No 2. P. 94–99. (in Russian)
4. Pukalchik M. A., Terekhova V.A. Ecotoxicological assessment of urban soils and detoxifying nanocomposite // *Vestnik Moscovskogo Universiteta. Seria 17. Pochvovedeniye*. 2012. No. 4. P. 26–31. (in Russian)
5. Kaniskin M.A., Izosimov A.A., Terekhova V.A., Yakimenko O.S., Pukalchik M.A. Impact of humic preparations on bioactivity of soil with phosphogypsum // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2011. No. 1. P. 86–93. (in Russian)
6. Perminova I.V., Grechishcheva N.Yu., Kovalevskii D.V., Kudryavtsev A.V., Matorin D.N., Petrosyan V.S. Quantification and prediction of detoxifying properties of humic substances to polycyclic aromatic hydrocarbons related to chemical binding // *Environ. Sci. Technol*. 2001. 35. P. 3841–3848.
7. Gerse R., Csicsor J., Pinter L. Application of humic acids and their derivatives in environmental pollution control. In: *Humic Substances in the Global Environment and Implication for Human Health*. Elsevier Science B.V., New York, 1994. P. 1297–1303.
8. Zhorobekova Sh.Zh., Koroleva R.P. Methods for humic acids analysis. Bishkek: Ilim, 2011. 160 p. (in Russian)
9. IUPAC Stability constants data base (computer edition). IUPAC and Academic Software, 1997. 2000 p.
10. Li S.P. Modified humic materials of detoxifying application. Bishkek: Ilim, 2015. P. 213–216. (in Russian)

## Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязнённой почвы Крайнего Севера

© 2016. Т. Ю. Коршунова, с.н.с., С. П. Четвериков, в.н.с.,  
О. Н. Логинов, зав. лабораторией,  
Уфимский Институт биологии РАН,  
450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, д. 69,  
e-mail: korshunovaty@mail.ru

Ханты-Мансийский автономный округ-Югра занимает первое место в России по добыче нефти, но также лидирует и по числу чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов. Задачей исследования было изучение в полевом опыте возможности применения природного консорциума микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2, выделенного авторами ранее для очистки нефтезагрязнённой почвы на территории этого региона. Опытный участок (заросшее лесом болото, степень загрязнения нефтью очень высокая – 70,3% (масс.)) был разбит на делянки площадью 1 м<sup>2</sup>, каждую из которых в сентябре 2013 года однократно обработали 1 л бактериальной суспензии с титром 1·10<sup>8</sup> КОЕ/мл. Помимо консорциума в качестве вариантов сравнения использовали штамм бактерий *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1, способный разлагать нефтепродукты в условиях низких положительных температур, а также смесь этих бактерий в равных количествах. Контролем служили делянки без интродукции микроорганизмов. Для оценки эффективности применения биопрепаратов контролировали степень разложения углеводородов и численность основных физиологических групп микроорганизмов, участвующих в биотрансформации нефтепродуктов (гетеротрофных аммонифицирующих и углеводородокисляющих). За 9 месяцев эксперимента на делянках, обработанных консорциумом микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2, количество остаточных углеводородов уменьшилось до 40% (по массе), а численность гетеротрофных аммонифицирующих и углеводородокисляющих бактерий увеличилась на 2–3 порядка. Полученные данные практически совпадают с результатами, достигнутыми при внесении психротолерантного штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1. На контрольных делянках без интродукции биопрепаратов численность гетеротрофных аммонифицирующих и углеводородокисляющих микроорганизмов осталась на прежнем уровне, а содержание нефтепродуктов уменьшилось незначительно (до 67,1%). Благодаря высокой приживаемости консорциум микроорганизмов способствует не только очищению от загрязнения нефтью, но и удлинению рекультивационного сезона на несколько месяцев и поэтому рекомендуется в качестве основы биопрепарата для восстановления грунтов в зоне холодного и умеренного климата осенью и ранней весной.

**Ключевые слова:** нефтезагрязнённая почва, консорциум микроорганизмов, биодеструкция, гетеротрофные аммонифицирующие микроорганизмы, углеводородокисляющие микроорганизмы.

## Prospects of using a consortium of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for cleaning oil-polluted soil of the extreme north

T. Yu. Korshunova, S. P. Chetverikov, O. N. Loginov,  
Ufa Institute of Biology, RAS,  
69, prospect Oktyabrya, Ufa, Russia, 450054,  
e-mail: korshunovaty@mail.ru

Khanty-Mansiysk autonomous okrug Ugra takes the first place in oil mining, it also has the biggest number of emergency situations connected with spills of oil and oil products. This paper shows the results of the field experiment of application of the natural consortium of microorganisms *Acinetobacter* sp. IB DT-5.1/1 and *Ochrobactrum* sp. IB DT-5.3/2 in cleaning oil-polluted soil in the region. The sample area (a wood-overgrown bog with a very high degree of oil-pollution – 70.3% (mas.)) was divided into allotments of 1 m<sup>2</sup>. In September, 2013 each allotment was treated with 1 litre of bacterial suspension with the titre 1·10<sup>8</sup> cells/ml. Apart from the bacterial strain *Pseudomonas* sp. IB-1.1 capable of decomposing at a low positive temperature was used for comparing with. To assess the efficiency of the preparations we controlled the degree of carbon decomposing and the number of main physiological groups of microorganisms participating in oil products biotransformation (heterotrophic ammonifying and hydrocarbon-oxidizing). During 9 months of experiment at the allotments treated with the microorganisms consortium the number of residual hydrocarbons

decreased to 40% (in mass) and the number of heterotrophic ammonifying microorganisms and hydrocarbon-oxidizing microorganisms grew by 2–3 orders of magnitude. The data obtained coincide with the results acquired at introduction of the psychrotolerant strain *Pseudomonas* sp. IB-1.1. At the control allotments without biopreparations introduction the number of heterotrophic ammonifying and hydrocarbon-oxidizing microorganisms did not change and the amount of oil products decreased slightly (to 67.1%). Due to high survival ability the microorganisms consortium helps to clear oil pollution as well as to prolong the recultivation season by several months. The consortium of microorganisms *Acinetobacter* sp. IB DT-5.1/1 and *Ochrobactrum* sp. IB DT-5.3/2 is recommended as a basis of bioreparation for soil restoration in the zone of cold and moderate climate in autumn and early spring.

**Keywords:** oil-polluted soil, consortium of microorganisms, biodestruction, heterotrophic ammonifying microorganisms, hydrocarbon-oxidizing microorganisms.

При современном уровне развития нефтегазового комплекса невозможно полностью исключить его негативное воздействие на экосистемы. Все стадии добычи, транспортировки, переработки и использования нефти и нефтепродуктов в той или иной степени приводят к загрязнению окружающей среды. Из трёх основных составляющих природных сред – воды, воздуха и почвы – сложнее всего подвергается восстановлению последняя, поскольку она аккумулирует и закрепляет вещества, оказывающие токсическое действие на растительность, почвенных животных и многие группы микроорганизмов, в результате чего резко снижается или полностью утрачивается главное свойство почвы – её плодородие.

Проблема контаминации нефтью особенно актуальна для Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (ХМАО-Югра), занимающего первое место в России по добыче этого полезного ископаемого. В 2014 г. там было получено 250,3 млн. т «чёрного золота» [1]. К сожалению, ХМАО-Югра лидирует также и по числу чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами нефти и нефтепродуктов, причём не только в России, но и во всём мире. Ежегодно здесь попадает в окружающую среду порядка 50–70 тыс. т нефти, ею загрязнено более 7 тыс. га земли [2, 3]. В последнее время происходит уменьшение объёмов и количества аварий. Так, в 2007 г. отмечено 5480 чрезвычайных ситуаций, приведших к загрязнению 890,9 га [3]; в 2009 г. зафиксировано 4797 инцидентов, площадь разливов составила 229,6 га [4]; в 2011 г. произошло 3624 утечки нефти [5], в 2013 г. – 2794 аварийных разлива, загрязнивших территорию в 95,5 га [6]. Но, несмотря на эту положительную тенденцию, проблема очистки почвы Ханты-Мансийского автономного округа-Югры от нефти и нефтепродуктов по-прежнему остаётся очень острой. Для этого региона с суровыми природно-климатическими условиями (резко континентальный климат, пониженные

среднегодовые температуры, недостаток аэрации, отсутствие необходимого количества биогенных элементов, скудность флоры и фауны и др.) характерны почвы с высокой степенью заболоченности, повышенной концентрацией соли, низкими значениями pH, слабым гумусовым слоем и крайне малой скоростью микробиологических процессов. Естественное самоочищение таких территорий от нефтяного загрязнения с помощью аборигенной микрофлоры является очень длительным процессом, который может растянуться на десятилетия [2, 7]. Всё это усугубляется очень незначительной активностью физико-химических факторов разложения (солнечное излучение, ферменты микроорганизмов, растений и химические окислители) [8].

Помимо количества разлитой нефти, размеры загрязнённых участков зависят и от почвенно-географических особенностей местности, на которой произошла авария. Общая выравненность рельефа и высокий уровень грунтовых вод, характерные для болотных ландшафтов ХМАО-Югры, способствуют обширному распространению поллютанта в разные стороны от места попадания его в окружающую среду [9]. Иногда за счёт значительной сорбционной способности торфа формируются локальные участки с очень высокой степенью загрязнения. Поэтому в первую очередь для ликвидации нефтяных разливов применяют сбор и откачку нефти. Потом, в зависимости от конкретных условий, проводится рекультивация торфом с подсыпкой песка, либо рыхление торфогрунта, либо обработка биопрепаратами, содержащими микроорганизмы (МО), утилизирующие широкий спектр углеводородов. Последний приём является наиболее эффективным способом восстановления экологически чистой обстановки в природных условиях без нарушения естественного биоценоза. Особенно перспективным представляется внесение природных ассоциаций-консорциумов, состоящих из нескольких видов МО, что позволяет с макси-

мальной отдачей использовать возможности процессов кометаболизма, тем самым ускоряя рекультивацию и способствуя достижению высокой степени очистки почв и грунтов [10].

Ранее из серой лесной почвы, загрязнённой дизельным топливом, был выделен консорциум МО *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 [11], обладающий высокой окислительной активностью по отношению к углеводородам различного строения, нефти и её фракциям и хорошо зарекомендовавший себя в модельных лабораторных опытах по ремедиации замазученных грунтов, а также в масштабном полевом эксперименте по обезвреживанию нефтешлама [12–14].

Целью работы являлось исследование возможности применения консорциума микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 для очистки нефтезагрязнённой почвы в почвенно-климатических условиях Крайнего Севера.

### Материалы и методы

Нефтеюганский район ХМАО-Югры характеризуется резко континентальным климатом с суровой долгой зимой (период с устойчивыми морозами длится 150–160 дней, средняя температура воздуха в январе  $-21^{\circ}\text{C}$ ), короткой и бурной весной, непродолжительным тёплым и влажным летом (среднемесячная температура июля  $+17^{\circ}\text{C}$ ) и короткой осенью. Смена сезонов происходит быстро и резко. Количество атмосферных осадков умеренное – 450–500 мм в год.

Полевой эксперимент проводили на месте нефтяного разлива на Мамонтовском месторождении (куст 290). Территория представляет собой заросшее лесом болото, лесная подстилка представлена в основном неперегнившим мхом, почва подзолистая, торфянистый горизонт расположен близко к поверхности. Непосредственно после порыва трубопровода летом 2012 г. верхний слой нефти был собран механическим способом, после чего произвели вспашку трактором. В конце вегетационного периода 2013 г. на упомянутой территории наметили относительно ровный по рельефу участок, который очистили от мусора, мёртвой растительности и перекопали вручную. Содержание органического вещества в почве составило 54%, азота – 2,8%, степень загрязнения нефтью очень высокая – в среднем 70,3%. На этой площади разбили 12 делянок (по три повторности на каждый вариант опыта). Размеры делянок 1 м x 1 м, расстояние между ними

1 м, расположение рандомизированное, удаление от границ участка не менее чем на 1 м. Каждую опытную делянку 01.09.2013 г. обработали 1 л бактериальной суспензии с титром  $1 \cdot 10^8$  КОЕ/мл (колониеобразующих единиц в мл). Помимо консорциума МО *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2, в качестве вариантов сравнения использовали штамм бактерий *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 (ВКМ В-2831D), выделенный из нефтезагрязнённой почвы Красноярского края и способный разлагать нефтепродукты в условиях низких положительных температур [15], а также смесь этих бактерий в равных количествах. Контролем служили делянки без интродукции МО. После внесения микробных культур произвели полив и рыхление.

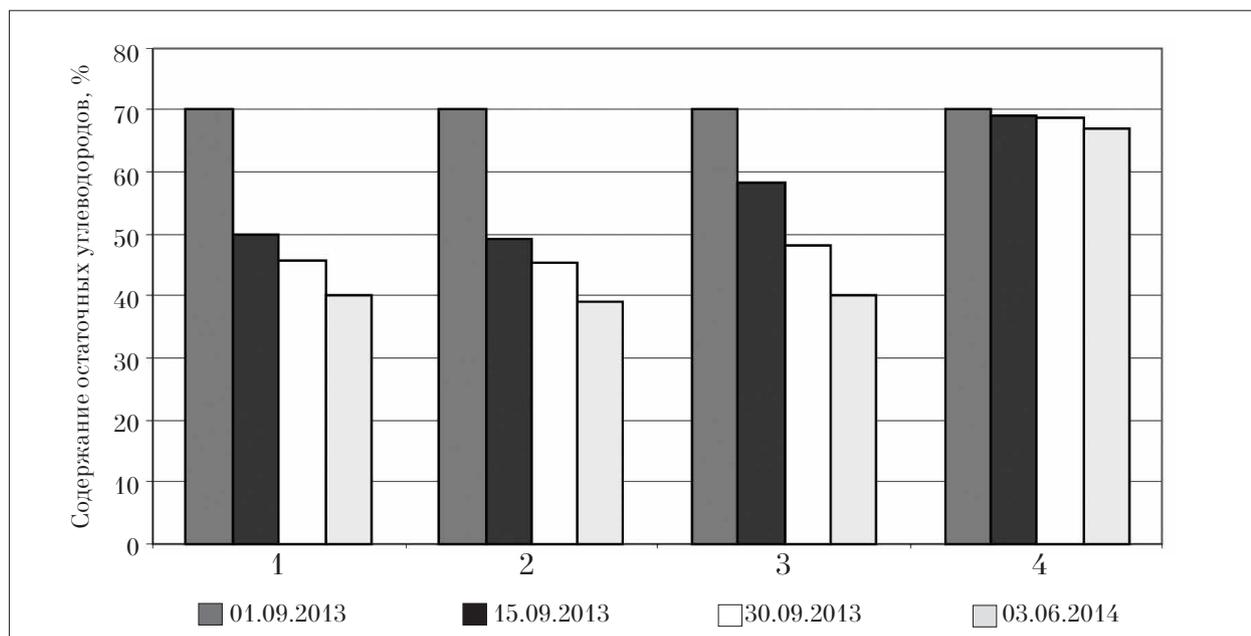
Для определения количества МО и содержания нефти с делянок с глубины 20 см отбирали усреднённые почвенные пробы методом конверта (15.09.2013 и 30.09.2013). В промежутках между отборами проб стояла тёплая погода с кратковременными осадками (среднемесячные показатели в сентябре 2013 г.: температура –  $7,8^{\circ}\text{C}$ , количество осадков – 32 мм). В дальнейшем доступ к рекультивируемому участку был затруднён по техническим причинам, поэтому следующий отбор и анализ проб производили уже в следующем вегетационном сезоне (03.06.2014 г.)

Для оценки эффективности применения биопрепаратов контролировали степень разложения углеводов в соответствии с ПНД Ф 16.1.41–04 [16].

Численность основных физиологических групп МО, участвующих в биотрансформации нефтепродуктов, определяли методом предельных разведений с посевом суспензии на твёрдые селективные питательные среды. Для гетеротрофных аммонифицирующих МО (ГАМ) – на мясо-пептонный агар, для углеводородокисляющих МО (УОМ) – на среду Раймонда с добавлением дизельного топлива в качестве единственного источника углерода и энергии [17].

### Результаты и их обсуждение

Динамика содержания остаточных углеводов в рекультивируемой почве в ходе эксперимента отражена на рисунке. Полученные данные свидетельствуют об активном разложении нефтепродуктов уже в первые две недели после рыхления и внесения в почву микроорганизмов-деструкторов. Самое резкое падение концентрации нефтепродуктов (на



**Рис.** Содержание нефтепродуктов в рекультивируемой почве в ходе эксперимента: 1 – консорциум микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2; 2 – штамм *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1; 3 – смесь штаммов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1, *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 и *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1; 4 – контроль без интродукции микроорганизмов

20,3–21,0%) наблюдалось при обработке консорциумом МО *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 и штаммом *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 по отдельности. В дальнейшие 15 дней процесс очистки замедлился – содержание углеводородов уменьшилось только на 3,7–4,3%, что, скорее всего, связано с исчезновением легкодоступных для бактерий алкановых фракций и преобладанием в составе загрязнителя трудноразлагаемых ароматических соединений. Эффективность консорциума и штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 была одинаковой: интродукция каждого позволила к концу сентября сократить количество нефтепродуктов в почве с 70,3 до 45,6%.

Совместное использование трёх МО также способствовало деструкции поллютантов. В начале эксперимента это происходило медленней, чем при раздельном применении (за период с 1 по 15 сентября уровень загрязнения снизился на 12,2%), но в последующие две недели скорость утилизации смесью была выше (убыль нефтепродуктов составила за этот период 10%), чем при использовании консорциума и штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 по отдельности. За месяц полевых испытаний влияние комбинации трёх микробных культур привело к уменьшению содержания углеводородов с 70,3 до 48,1%.

Исследование проб, отобранных 03.06.2014 г., показало, что за период с октября 2013 г. по май 2014 г. в холодных почвенно-

климатических условиях процесс разложения нефтепродуктов продолжался, хотя и небыстрыми темпами. Невысокая скорость биодеградации в осенне-весенний период, скорее всего, объясняется более низкими среднесуточными температурами, избыточной влажностью грунта и гибелью некоторой части бактерий-деструкторов. В целом к моменту завершения испытания на делянках, инокулированных МО, количество остаточных углеводородов уменьшилось на 30,3–31,4%, а степень биодеструкции поллютантов достигла 43,1–44,7%. В то же время в почве, содержащей только аборигенную микрофлору, убыль загрязняющих веществ была незначительной – 2,9%, а биодеградация нефтепродуктов составила всего 4,6%, что более чем в 9 раз ниже этого показателя для опытных делянок.

Нефтезагрязнённая почва характеризовалась низкой микробной активностью, что, по-видимому, связано с токсическим действием углеводородов. Перед началом эксперимента количество ГАМ составляло  $(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^4$  КОЕ/г, а УОМ –  $(5,7 \pm 0,3) \cdot 10^3$  КОЕ/г. Анализ изменения микробиологических параметров опытных делянок показал, что под влиянием интродукции бактериальных препаратов произошло увеличение численности МО, участвующих в биотрансформации нефти (таблица).

Количество ГАМ в ходе полевого испытания на опытных делянках возросло на

Численность гетеротрофных аммонифицирующих и углеводородокисляющих микроорганизмов в нефтезагрязнённой почве, КОЕ/г

Микроорганизмы	Вариант опыта	Даты отбора проб		
		12.09.2013	30.09.2013	03.06.2014
Гетеротрофные аммонифицирующие	Консорциум	$(4,5 \pm 0,2) \cdot 10^5$	$(9,8 \pm 0,4) \cdot 10^6$	$(4,9 \pm 0,1) \cdot 10^7$
	<i>Pseudomonas</i> sp. ИБ-1.1	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^5$	$(3,4 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(8,7 \pm 0,4) \cdot 10^6$
	Смесь трёх штаммов	$(2,9 \pm 0,3) \cdot 10^5$	$(4,9 \pm 0,6) \cdot 10^6$	$(2,3 \pm 0,2) \cdot 10^6$
	Контроль	$(3,8 \pm 0,3) \cdot 10^4$	$(4,2 \pm 0,3) \cdot 10^4$	$(4,1 \pm 0,2) \cdot 10^4$
Углеводородокисляющие	Консорциум	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^5$	$(5,1 \pm 0,4) \cdot 10^6$	$(4,7 \pm 0,3) \cdot 10^6$
	<i>Pseudomonas</i> sp. ИБ-1.1	$(8,3 \pm 0,4) \cdot 10^4$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(4,1 \pm 0,5) \cdot 10^6$
	Смесь трёх штаммов	$(7,6 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(2 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^6$
	Контроль	$(8,8 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^4$	$(1 \pm 0,3) \cdot 10^4$

Примечание. Консорциум – консорциум микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2; смесь трёх штаммов – смесь консорциума *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 и штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1.

2–3 порядка. Наибольшее увеличение этого показателя произошло при применении консорциума микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2. Уже через месяц после его внесения численность увеличилась с  $(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^4$  КОЕ/г до  $(9,8 \pm 0,4) \cdot 10^6$  КОЕ/г, а в июне 2014 г. она составила  $(4,9 \pm 0,1) \cdot 10^7$  КОЕ/г. Смесь трёх штаммов на первом этапе рекультивации в сентябре 2013 г. зарекомендовала себя более эффективно, чем штамм *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1, но спустя 9 месяцев после начала эксперимента численность гетеротрофной аммонифицирующей микробиоты на делянках, обработанных штаммом *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1, оказалась выше, чем там, где была использована смешанная бактериальная суспензия ( $(8,7 \pm 0,4) \cdot 10^6$  и  $(2,3 \pm 0,2) \cdot 10^6$  КОЕ/г соответственно).

Инокуляция загрязнённой почвы микроорганизмами-нефтедеструкторами способствовала существенному (на три порядка) увеличению числа бактерий, разлагающих углеводороды. Наиболее значительные результаты на протяжении всего эксперимента были получены с помощью консорциума *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2. Это, вероятно, свидетельствует о способности бактерий, входящих в его состав, хорошо приживаться в нефтезагрязнённом субстрате. Благодаря применению этого биопрепарата уже в первые две недели после интродукции удалось поднять количество УОМ до  $(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^5$  КОЕ/г, а спустя ещё две недели довести его до  $(5,1 \pm 0,4) \cdot 10^6$  КОЕ/г. Через 8 месяцев численность данной группы

МО на делянках, обработанных консорциумом, незначительно снизилась ( $(4,7 \pm 0,3) \cdot 10^6$  КОЕ/г в июне 2014 г.), но по-прежнему оставалась самой высокой среди использованных вариантов.

Другие две микробные культуры, хотя и в меньшей степени, тоже содействовали увеличению количества УОМ. В начале рекультивационных работ с их помощью была достигнута схожая друг с другом численность УОМ ( $(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^6$  КОЕ/г – для *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 и  $(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^6$  КОЕ/г – для смеси трёх штаммов). Но к моменту завершения эксперимента на делянках, инокулированных смешанной суспензией МО, количество разлагающей нефтепродукты микрофлоры снизилось до  $(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^6$  КОЕ/г, в то время как при использовании штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 этот показатель не только не уменьшился, но даже возрос до  $(4,1 \pm 0,5) \cdot 10^6$  КОЕ/г и приблизился к таковому значению для консорциума.

Рост плотности микробной популяции является одним из признаков активной биодеструкции нефти в почве. Сравнение динамики численности гетеротрофных аммонифицирующих и углеводородокисляющих МО показало, что она была выше в вариантах с интродукцией бактерий-деструкторов. На контрольных делянках количество ГАМО в течение опыта колебалось в интервале  $(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^4$  –  $(4,2 \pm 0,3) \cdot 10^4$  КОЕ/г, а количество УОМ в ходе опыта не превысило  $(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^4$  КОЕ/г.

Таким образом, в ходе проведения модельного полевого эксперимента установлено, что однократная интродукция консорциума

микроорганизмов *Acinetobacter* sp. ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum* sp. ИБ ДТ-5.3/2 ускоряет процесс биодegradации углеводов в нефтезагрязнённой почве Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. С помощью данного биопрепарата за 9 месяцев осенне-весеннего периода с пониженными температурами из субстрата было удалено 30,3% нефти, что практически совпадает с результатами, достигнутыми за счёт деятельности психротолерантного штамма *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1. Полученные данные позволяют рекомендовать консорциум для восстановления нефтезагрязнённых грунтов в зоне холодного и умеренного климата осенью и ранней весной, тем самым удлиняя период рекультивации на несколько месяцев. Внесение биопрепарата способствует увеличению в почве количества ГАМ и УОМ, участвующих в трансформации нефтепродуктов. Этот положительный эффект наблюдался даже в начале нового вегетационного сезона, что свидетельствует о высокой выживаемости и конкурентоспособности интродуцированного консорциума.

### Литература

1. Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпилмана. URL: <http://www.crru.ru/dobicha.html> (дата обращения 21.01.2016).
2. Чижев Б. Е., Долингер В. А., Захаров А. И. Особенности нефтяного загрязнения территории Ханты-Мансийского автономного округа // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2008. № 8. С. 15–21.
3. О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2006–2007 годах. Информационный бюллетень. Ханты-Мансийск: ОАО «НПЦ Мониторинг», 2008. 117 с.
4. О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2008–2009 годах. Информационный бюллетень. Ханты-Мансийск: ОАО «НПЦ Мониторинг», 2010. 132 с.
5. Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2011 г. Доклад. Ханты-Мансийск: ОАО «НПЦ Мониторинг», 2012. 139 с.
6. Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2013 г. Доклад. Ханты-Мансийск: ОАО «НПЦ Мониторинг», 2014. 200 с.
7. Алексеев А.Ю., Забелин В.А., Куц С.А., Пущкарев Н.С. Практика биологической рекультивации // Нефтяное хозяйство. 2006. № 12. С. 98–99.
8. Алексеев А.Ю. Не навреди // Промышленность и экология Севера. 2011. № 5–6 (13–14). С. 40–47.
9. Казанцева М.Н., Казанцев А.П., Гашев С.Н. Характеристика нефтяного загрязнения территории Мамонтовского месторождения нефти // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2001. № 2. С. 86–90.

10. Логинов О.Н., Силищев Н.Н., Бойко Т.Ф., Галимзянова Н.Ф. Микробиологические технологии в рекультивации нефтезагрязнённых почв и техногенных отходов. М., Наука, 2009. 112 с.

11. Логинов О.Н., Султанов И.М., Четвериков С.П., Давлетшин Т.К., Коршунова Т.Ю., Столярова Е.А., Мухаматдырова С.Р., Кобызева Н.В. Консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter* sp. и *Ochrobactrum* sp., используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Патент РФ на изобретение № 2553540 (20.06.2015). Бюл. № 17.

12. Коршунова Т.Ю., Мухаматдырова С.Р., Логинов О.Н. Консорциум микроорганизмов, окисляющий нефтяные углеводороды // Вестник Башкирского университета. 2013. № 3. С. 734–735.

13. Четвериков С.П., Валиуллин Э.Г., Гареева Э.Р., Бакаева М.Д., Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Биоремедиация замазученного грунта с помощью микробиологических препаратов // Вестник Башкирского университета. 2013. № 3. С. 723–725.

14. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Опыт применения консорциума микроорганизмов-деструкторов углеводородов для обезвреживания нефтеотходов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13407>.

15. Логинов О.Н., Четвериков С.П., Коршунова Т.Ю., Валиуллин Э.Г., Бакаева М.Д., Фарухшин Д.Ф. Способ очистки почв от нефти в условиях низких положительных температур психротолерантными бактериями *Pseudomonas* sp. ИБ-1.1 // Патент РФ на изобретение № 2539148 (10.01.2015). Бюл. № 1.

16. ПНД Ф 16.1.41–04 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом». 2004. Портал нормативных документов. URL: <http://www.OpenGost.ru> (дата обращения: 03.10.2013).

17. Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinic hydrocarbons // Develop. Industr. Microbiol. 1961. V. 2. № 1. P. 23–32.

### References

1. V.I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil. URL: <http://www.crru.ru/dobicha.html> (date of the address)21.01.2016. (in Russian)
2. Chizhov B.E., Dolinger V.A., Zakharov A.I. Specificity of oil pollution on the territory of Khanty-Mansi national region // Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. 2008. № 8. P. 15–21. (in Russian)
3. About a state of environment of Khanty-Mansi Autonomous okrug-Ugra in 2006–2007 years. Informatsonniy buleten. Khanty-Mansiysk: ОАО «NPC Monitoring». 2008. 117 p. (in Russian)
4. About a state of environment of Khanty-Mansi Autonomous okrug-Ugra in 2008–2009 years. Informatson-

niy bulletin. Khanty-Mansiysk: OAO «NPC Monitoring». 2010. 132 p. (in Russian)

5. Ecological situation of Khanty-Mansi Autonomous okrug-Ugra in 2011 year. Doklad. Khanty-Mansiysk: OAO «NPC Monitoring». 2012. 139 p. (in Russian)

6. Ecological situation of Khanty-Mansi Autonomous okrug-Ugra in 2013 year. Doklad. Khanty-Mansiysk: OAO «NPC Monitoring». 2014. 200 p. (in Russian)

7. Alekseev A.Yu., Zabelin V.A., Kuts S.A., Pushkarev N.S. Practice of biological soil reclamation // Neftyanoe khozyaistvo. 2006. № 12. P. 98–99. (in Russian)

8. Alekseyev A.Yu. Don't do much harm // Promyshlennost i ekologiya Severa. 2011. № 5–6. P. 40–47. (in Russian)

9. Kazantseva M.N., Kazantsev A.P., Gashev S.N. Characteristic of oil pollution at Mamontovskoye oil-field // Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. 2001. № 2. P. 86–90. (in Russian)

10. Loginov O.N., Silishchev N.N., Boyko T.F., Galimzyanova N.F. Microbiological technologies in recultivation of petropolluted soils and technogenic waste. M.: Nauka, 2009. 112 p. (in Russian)

11. Loginov O.N., Sultanov I.M., Chetverikov S.P., Davletshin T.K., Korshunova T.Yu., Stolyarova E.A., Mukhamatdeyarova S.R., Kobzyeva N.V. Consortium of strains of microorganisms *Acinetobacter* sp. and *Ochrobactrum* sp., used for purification of water and soil from oil and oil products // Patent RF na izobreteniye № 2553540 (20.06.2015). Bul. № 17. (in Russian)

12. Korshunova T.Yu., Mukhamatdeyarova S.R., Loginov O.N. The consortium of microorganisms oxidizing oil hydrocarbons // Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2013. № 3. P. 734–735. (in Russian)

13. Chetverikov S.P., Valiullin E.G., Gareyeva E.R., Bakayeva M.D., Korshunova T.Yu., Loginov O.N. Bioremediation of oil-contaminated soil by means of microbiological preparations // Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2013. № 3. P. 723–725. (in Russian)

14. Korshunova T.Yu., Loginov O.N. Experience of application of consortium of microorganisms destructors for neutralization of oil waste // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/117-13407> (in Russian)

15. Loginov O.N., Chetverikov S.P., Korshunova T.Yu., Valiullin E.G., Bakayeva M.D., Farukhshin D.F. Method of cleaning soil from oil at low positive temperature with psychrotolerant bacteria *Pseudomonas* sp. IB-1.1 // Patent RF na izobreteniye № 2539148 (10.01.2015). Bul. № 1. (in Russian)

16. PND F 16.1.41–04 «Metod of measurements of mass concentration of oil products in samples of soil by a gravimetric method». 2004. Portal normativnykh dokumentov. URL: <http://www.OpenGost.ru> (дата обращения: 03.10.2013). (in Russian)

17. Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinic hydrocarbons // Develop. Industr. Microbiol. 1961. V. 2. № 1. P. 23–32.

**II Международная научно-практическая конференция,  
посвященная 105-летию со дня рождения профессора  
Эмилии Адриановны Штиной**

**«ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПРИРОДНЫХ  
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ»**

С 19 по 23 октября 2015 г. в Вятской государственной сельскохозяйственной академии проходила II Международная научно-практическая конференция «Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах». Она была посвящена 105-летию со дня рождения профессора Эмилии Адриановны Штиной, которая вместе с выдающимся российским ученым ленинградским профессором Максимилианом Максимилиановичем Голлербахом стояла у истоков создания новой науки – почвенной альгологии. Э. А. Штина – имя, ставшее легендой в почвенной альгологии. Не каждому учёному на своём веку удаётся стоять у истоков рождения новой науки. В её жизни многое решал случай. И одновременно личные качества – необычайная работоспособность, упорство, ответственность, жажда познания нового – приводили к тому, что в любом деле, которое начинала Штина, она становилась лидером. Ещё в 50–80-е годы прошлого века Э. А. Штина выделила следующие процессы как главные направления участия водорослей в формиро-

вании почвенного плодородия: накопление органического вещества; стимуляция микробиологической деятельности; фиксация молекулярного азота (синезелёные водоросли = цианобактерии); воздействие на рост растений выделениями метаболитов; улучшение аэрации почвы; биологическое закрепление минеральных солей; противэрозионное значение наземных разрастаний; изменение рН почвы. Кроме того, она первая заговорила о биоиндикационной роли почвенных водорослей.

Работы в области почвенной альгологии продолжают в настоящее время многочисленные ученики и ученики учеников Э. А. Штиной. В частности, в г. Кирове подобные исследования проводятся на кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии (ранее на кафедре ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э. А. Штиной) ВГСХА, на кафедре экологии ВятГГУ и в лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ.

В 2010 г. к 100-летию со дня рождения Э. А. Штиной в ВятГГСХА была проведена I



Президиум конференции

Международная научно-практическая конференция «Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах», в работе которой участвовало 275 человек из 15 городов (Астрахань, Екатеринбург, Жигулёвск, Киров, Красноярск, Москва, Новосибирск, Пермь, Пущино, Санкт-Петербург, Тверь, Тольятти, Тюмень, Якутск, Ярославль), 6 республик России (Башкортостан, Коми, Карелия, Мордовия, Удмуртия), а также из Белоруссии. Было представлено 28 научных учреждений, в том числе 12 – университетов, 2 – сельскохозяйственные академии, 14 – институтов РАН и РАСХН. В числе участников – 18 докторов наук, 84 кандидата наук, аспиранты и студенты. К началу работы конференции был издан сборник научных материалов, включающий 80 статей, подготовленных 140 авторами из России, Украины, Белоруссии и Ирана.

В работе II Международной конференции участвовали 235 человек из 18 городов (Апа-

титы, Астрахань, Севастополь, Сыктывкар, Москва, Новосибирск, Уфа, Киров, Ижевск, Иркутск, Красноярск, Краснодар, Кировск, Омск, Санкт-Петербург, Тюмень, Якутск, Ялта), а также из Белоруссии, Молдовы и Чехии. Было представлено 39 научных и учебных учреждений, в том числе 14 – университетов, 3 – сельскохозяйственные академии, 19 – научно-исследовательских институтов РАН и РАСХН. В числе участников – 22 доктора и 54 кандидата наук, аспиранты и студенты. К началу работы конференции был издан сборник научных материалов, включающий 71 статью, подготовленную 111 авторами.

На конференции было заслушано 35 научных докладов, включая 7 пленарных, прошла постерная сессия. На конференции обсуждали проблемы, посвященные вопросам флоры и географии почвенных водорослей, влиянию антропогенных факторов на их развитие, специфике функционирования альгоценозов



Участники конференции М. В. Дорохова (Москва), Т. Я. Ашихмина (Киров), М. В. Гецен (Сыктывкар), С. М. Трухницкая (Красноярск), Л. И. Домрачева (Киров)



Выступает М. В. Гецен (Сыктывкар)



Молодые участники конференции



Первые аспиранты Э. А. Штиной

на урбанизированных территориях, особенностям физиологии, биохимии и экологии водорослей.

На пленарном заседании были заслушаны доклады о роли Э. А. Штиной в развитии почвенной альгологии в нашей стране, о традициях научной школы, основы которой были заложены Эмилией Адриановной, о наиболее перспективных направлениях развития почвенной альгологии и её прикладных аспектах: М. В. Гецен (Сыктывкар), В. С. Артамонова (Новосибирск), Т. Я. Ашихмина (Киров), Л. И. Домрачева (Киров).

В пленарном докладе Л. А. Гайсиной (Уфа) были освещены вопросы, связанные с подбором штаммов водорослей и цианобактерий (ЦБ) для получения разнообразной биотехнологической продукции. Приводятся результаты скрининга устойчивости наземных водорослей и ЦБ к экстремальным значениям реакции среды. В докладе, подготовленном Г. А. Евдокимовой и В. А. Редькиной (Апатиты), проанализированы многолетние результаты, характеризующие изменения химического состава почв и почвенной микробиоты, включая водоросли, в зонах воздействия газовоздушных выбросов предприятий цветной металлургии. Отмечается доминирование слизеобразующих водорослей и ЦБ в зонах максимального загрязнения.

Успешно прошла работа секций. В секции «Флора водорослей» большой интерес, в частности, вызвал доклад Н. В. Данцюк (Севастополь) о новых изолятах зелёной микроводоросли *Haematococcus pluvialis*, которая является основным промышленным источником природного кератокаротиноида астаксантина, нашедшего применение в медицине, кормопроизводстве, лечебной косметике. Н. В. Суханова (Уфа) в своём докладе подробно остановилась на характеристике альго-цианобактериальных комплексов городских почв. С. М. Трухницкая (Красноярск) в своём сообщении отмечала изменение состояния диатомовых и зелёных водорослей под воздействием пестицидов. Н. М. Зимонина (Киров) представила подробную информацию о количественных показателях альгогруппировок техногенных субстратов в районах угля и нефтедобычи Республики Коми.

В секции «Экология водорослей и цианобактерий» большой интерес вызвало выступление И. Г. Широких (Киров) об особенностях взаимодействия ЦБ с ризосферными и почвенными стрептомицетами. Выявлены

цианобактериально-актиномицетные ассоциации, подавляющие развитие фитопатогенных грибов. Д. В. Казакова (Киров) продемонстрировала особенности ответных реакций аборигенной микрофлоры на цианобактериальную интродукцию под посевами лядвенца рогатого. В докладе А. А. Калинина (Киров) приведены убедительные примеры усиления эффекта нитрагинизации бобовых культур, сопряжённые с одновременным использованием ЦБ. С ярким докладом об особенностях экологии цианопрокариот Шпицбергена выступил Д. А. Давыдов (Кировск).

В секции «Использование водорослей и цианобактерий в биомониторинге окружающей среды», в частности, прозвучали доклады о комплексной оценке воздействия пестицидов на микробные комплексы почв (Г. И. Березин, г. Киров), об использовании альго-цианобактериальных сообществ как индикаторов загрязнения почв авиационным керосином (М. Ф. Дорохова, г. Москва), об особенностях группировок почвенных водорослей и ЦБ природных и техногенно преобразованных территорий (Л. В. Кондакова, г. Киров).

Среди наиболее интересных выступлений на секция «Физиология и биохимия водорослей и цианобактерий» можно отметить доклад Ю. В. Батаевой (Астрахань) об изучении биологической активности и состава метаболитов почвенных циано-бактериальных сообществ аридных регионов, а также серию докладов кировских учёных о биотестовом и биосорбционном потенциале почвенных ЦБ, с которыми выступили С. Ю. Огородникова, Е. А. Горностаева, А. И. Фокина.

В заключение работы конференции участники отмечали высокий уровень её подготовки и проведения. Были высказаны пожелания сделать проведение подобных конференций традиционным. Отмечалось, что в России по-прежнему сохраняется высочайший уровень подготовки почвенных альгологов, методические подходы которой были заложены Эмилией Адриановной Штиной.

*Л. И. Домрачева,  
д.б.н., профессор кафедры  
биологии растений,  
селекции и семеноводства, микробиологии  
Вятской ГСХА*

## УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ! УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

С первого выпуска 2016 г. в журнале «Теоретическая и прикладная экология» произойдёт несколько важных изменений.

Прежде всего, журнал включён в новый переработанный перечень ВАК по группам научных специальностей: 03.01.00 – физико-химическая биология; 03.02.00 – общая биология; 03.03.00 – физиология; 02.00.00 – химические науки; 25.00.00 – науки о Земле. Издание по-прежнему остаётся рецензируемым, входит в каталог периодических изданий Ульрих (Ulrich's Periodicals Directory), библиографические базы Google Scholar и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Двухлетний импакт-фактор РИНЦ, по данным 2013 г., составляет 0,347, и редакция надеется, что в дальнейшем он будет только расти.

Кроме того, в 2016 г. мы планируем подать заявку на включение журнала в базу данных Scopus. В соответствии с требованиями Scopus редакцией разработаны новые правила оформления статей. Данные правила вступают в силу с 1 января 2016 г., их выполнение авторами является обязательным условием при подаче статей в журнал. Новые правила опубликованы в данном номере и представлены на сайте журнала – <https://www.vyatsu.ru/>.

*Главный редактор журнала  
д.т.н., профессор Т. Я. Ашихмина*

## Правила для авторов

Общественно-научный журнал «Теоретическая и прикладная экология» публикует статьи на русском (или английском языке) по всем разделам экологии, а также смежных наук: оригинальные работы, обзорные статьи, хронику и информацию, рецензии, представляющие интерес для научного сообщества.

К публикации принимаются ранее не опубликованные и не направленные для публикации в другие издания статьи, касающиеся проблем экологически безопасного развития экономики и потребления природных ресурсов, новых теоретических и методологических подходов в оценке техногенного загрязнения природных сред и объектов, структурно-функциональной организации и устойчивости экосистем в изменяющихся условиях среды, регулирования техногенных эмиссий и распространения загрязнителей в природных средах, санации и реабилитации химически загрязнённых территорий, принципов и технологий управления отходами, экологизации промышленного и аграрного производства, посвящены вопросам формирования экологической культуры населения. Краткие (предварительные) сообщения не принимаются.

Статьи, поступающие в журнал, проходят одностороннее анонимное рецензирование с привлечением не менее двух рецензентов. Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не соответствующие профилю журнала или оформленные с нарушением правил.

*Редакция просит авторов при подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами.*

Рекомендуемый объём рукописи (включая аннотацию, список литературы, таблицы, подписи к рисункам) – до 16 машинописных страниц (для обзоров до 24 страниц), напечатанных в текстовом редакторе Word в формате rtf шрифтом (14 кегль) через 1,5 интервала, с одной стороны листа бумаги стандартного формата (А4). Все поля рукописи должны быть не менее 20 мм. Размер абзацного отступа – 5 знаков.

При подготовке рукописи следует соблюдать единообразие в обозначениях, системах единиц измерения, номенклатуре. Нужно, по мере возможности, избегать сокращений, кроме общеупотребительных. Если сокращения всё-таки используются, то они должны быть расшифрованы в тексте при их первом упоминании. Десятичные цифры в русском варианте набираются только через запятую, в английском – через точку. Первое упоминание любого названия организма должно сопровождаться полным научным (латинским) названием; при следующем упоминании название рода указывается сокращённо. Название вида и рода даётся курсивом. Все физические величины должны быть даны в Международной системе (СИ). Буква «ё» везде пишется с точками.

Точка не ставится после: «УДК», заглавия статьи, авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, названий таблиц, размерностей (с – секунда, г – грамм, мин – минута, сут – сутки, град – градус, нед – неделя).

В предлагаемых для публикации научных статьях должно содержаться:

- обоснование актуальности,
- чёткая постановка целей и задач исследования,
- методика,
- результаты и их обсуждение,
- заключение или выводы.

Заглавие должно быть кратким (не более 8–10 значащих слов), информативным и по возможности точно отражать содержание статьи.

Статья должна иметь индекс УДК (определяется автором по таблицам Универсальной десятичной классификации).

В связи с подготовкой журнала «Теоретическая и прикладная экология» к размещению информации о нём на научной информационной платформе Scopus с последующим индексированием его содержания, особое внимание при оформлении статьи следует уделить написанию **аннотации** (авторского резюме) на русском (объёмом от 100 до 250 слов) и английском (объёмом от 250 до 300 слов) языках.

Аннотация к статье призвана выполнять функцию независимого от статьи источника информации и должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной (укладываться в объём от 250 до 300 слов).

Англоязычный текст аннотации, кроме того, должен быть:

- оригинальным (не быть калькой русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- написанным качественным английским языком.

Необходимо иметь в виду, что аннотации на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных учёных и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований. Поэтому в аннотации должны быть чётко и конкретно перечислены основные результаты, выводы, при необходимости – методы и объекты. Не рекомендуется использование формулировок типа «в статье рассмотрены вопросы... и обсуждается проблема...»

В английском переводе перед текстом аннотации помещается английское название статьи: инициалы и фамилии авторов в английской транслитерации, название учреж-

дения и почтовый адрес с указанием города и страны на английском языке.

К статье прилагаются на русском и английском языках ключевые слова (до 6 слов и словосочетаний).

Ссылки на литературу даются цифрами в квадратных скобках по порядку упоминания в тексте. Список литературы прилагается в конце статьи. Приводятся фамилии всех авторов и полное название цитируемой работы.

#### **Примеры оформления списка литературы**

##### **Для журналов:**

1. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408–411.

2. Gautret P., De Wit R., Camoin G., Golobic S. Are environmental conditions recorded by the organic matrices associated with precipitated calcium carbonate in cyanobacterial microbialites? // Geobiology. 2006. V. 4. № 2. P. 93–107.

##### **Для сборников научных трудов, материалов конференций и тезисов докладов:**

Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В., Бабьева И.П., Марфенина О.Е., Умаров М.М. Тяжёлые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5–46.

##### **Для авторефератов диссертаций:**

Ступникова И.В. Термостабильные белки злаков в период низкотемпературной адаптации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: СИФИБР СО РАН. 2001. 20 с.

##### **Для монографий:**

Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 141 с.

Всю библиографическую информацию следует представлять также на латинице. Названия работ, набранных в оригинале не латиницей, следует давать в английском переводе, а фамилии авторов и названия изданий – транслитерировать. В конце библиографической записи следует указывать язык оригинала, если он отличается от английского. Стандарты транслитерации приведены в таблице.

Буква «е» русского алфавита транслитерируется в латинский алфавит как «*ye*», если стоит в начале слова, после гласных и знаков «*ъ*» и «*ь*». Во всех остальных случаях – как «*e*». Буква «ё» транслитерируется как «*ye*», если она стоит в начале слова, после гласных и знаков «*ъ*» и «*ь*». Во всех остальных случаях – как «*e*». Буквы «*й*» и «*ы*» транслитерируются как «*y*» в обоих случаях.

## Стандарты транслитерации

а – a	г – g	ë – e, ye	и – i	л – l	о – o	с – s	ф – f	ч – ch	ы – y
б – b	д – d	ж – zh	й – y	м – m	п – p	т – t	х – kh	ш – sh	э – e
в – v	е – e, ye	з – z	к – k	н – n	р – r	у – u	ц – ts	щ – shch	ю – yu
									я – ya

Буква «ц» транслитерируется как «ts», таким же образом, как и буквосочетание «ts». Сочетание русских букв «кс» транслитерируется как «ks», а не как «x».

Таблицы не должны быть громоздкими. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Подзаголовки столбцов пишутся с большой буквы и должны быть максимально краткими, информативными и не содержать сокращений. Не следует повторять и пересказывать в тексте статьи цифры и данные, приведённые в таблицах.

Иллюстративные материалы выполняются в программах Corel DRAW, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator. Электронный вариант каждой таблицы и рисунка записывается в отдельный файл в формате программы, в которой они были созданы. Подписи к иллюстрациям следует давать отдельным списком.

Рисунки предоставляют с приложением подрисуночных подписей. Надписи, загромождающие рисунок, должны быть заменены цифровыми или буквенными обозначениями, которые обязательно поясняются в подрисуночных подписях. Оси графиков необходимо сопровождать отражающими их суть надписями. На обороте каждого рисунка карандашом указывается его номер и фамилия авторов.

Фотоснимки (размером не менее 9–12 см) представляются с чётким контрастным изображением и хорошо проработанными деталями. На обороте иллюстрации необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка. Ксерокопии не принимаются.

Направляемая в редакцию статья должна быть подписана всеми авторами с указанием фамилии, имени и отчества (полностью).

К статье прикладывается подписанный всеми соавторами лицензионный договор на право использования научного произведения в журнале. Его текст будет выслан редакцией по электронной почте.

В редакцию представляется электронный вариант (на магнитном носителе или пересылкой по электронной почте) и распечатка статьи в одном экземпляре. К статье прилагается экспертное заключение организации о возможности публикации материалов в открытой печати. Организация, направляющая статью, наряду с

авторами несёт ответственность за ее научное содержание.

**При несоблюдении этих требований статья не рассматривается редакцией.**

Рукопись статьи направляется на рецензирование члену редколлегии журнала и/или ведущему специалисту в данной области исследования. Если в рецензии имеются замечания, то рукопись направляется автору на доработку. К переработанной рукописи необходимо приложить письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и поясняющее все изменения, сделанные в статье. Переработанная статья направляется на повторное рецензирование. Окончательное решение о возможности её опубликования принимает редколлегия журнала.

Экземпляр журнала с опубликованной статьёй авторам не высылается и распространяется только по подписке. Гонорар не выплачивается. Высланные в редакцию материалы авторам не возвращаются.

В редакцию представляются:

- 1) Полный текст рукописи и иллюстрации в электронном виде.
- 2) Распечатанный текст рукописи (1 экз.), подписанный авторами.
- 3) Направление от организации и акт экспертизы.
- 4) Подписанный авторами договор о передаче авторских прав (лицензионный договор).
- 5) Сведения об авторе (авторах): наименование организации, в которой выполнена работа, должность, учёная степень и звание, почтовый адрес, телефоны (рабочий и домашний) факс, адрес электронной почты автора (соавторов), отпечатанные на отдельном листе. В названиях учреждений не следует использовать сокращения.

Необходимо также указать лицо, с которым редакция будет вести переписку.

**Все печатные материалы предоставляются в редакцию журнала обычным письмом по адресу:** 610000, г. Киров, ул. Московская, 36, редакция журнала «Теоретическая и прикладная экология», секретарю журнала Скугорева Светлане Геннадьевне. **Электронный вариант материалов высылается по e-mail:** ecolab2@gmail.com; ecolab@vshu.kirov.ru. **Контактный телефон** (8332) 37-02-77.

## **Положение о публикационной этике журнала «Теоретическая и прикладная экология»**

В своей деятельности редакция, редакционная коллегия и издательство руководствуются положением о публикационной этике журнала «Теоретическая и прикладная экология» (далее – журнала), разработанным по рекомендациями и стандартами Комитета по этике научных публикаций – Committee on Publication Ethics (COPE) с привлечением опыта ведущих научных журналов.

Публикация материалов в журнале «Теоретическая и прикладная экология» вносит значительный вклад в развитие соответствующей области научного знания и способствует осуществлению связи науки, производства и образования. Поэтому важно установить стандарты этического поведения всех вовлечённых в публикацию сторон: авторов, научных редакторов журнала, рецензентов, издательства и научного сообщества для журнала «Теоретическая и прикладная экология».

### ***Статьи, представленные автором в редакцию журнала, должны:***

- соответствовать тематике журнала;
- содержать новые данные, достоверные результаты исследований и объективное обсуждение значимости исследования, не опубликованные ранее и не переданные для публикации в другие издания;
- быть оформленными согласно существующим требованиям;
- включать полный список использованной при подготовке статьи литературы с библиографическими ссылками на используемые работы других авторов;
- не содержать плагиата в любых его формах и ложных сведений;
- гарантировать, что все авторы статьи участвовали в проведённом исследовании и согласны с представлением работы к публикации;
- участвовать в процессе доработки статьи и, в случае необходимости, вносить правки, дорабатывать графику, исправлять допущенные ошибки;
- содержать информацию о финансовой поддержке, если таковая была.

### ***Обязанности рецензентов:***

- обладать достаточной квалификацией для рассмотрения рукописи и достаточным временем для подготовки заключения по рукописи;
- выявлять значимые опубликованные работы, соответствующие теме и не включённые в библиографию к рукописи; обращать внимание на обнаружение существенного сходства или совпадения между рассматриваемой рукописью и любой другой опубликованной работой, находящейся в сфере научной компетенции рецензента;
- уважать точку зрения автора, ясно и аргументированно выражать своё мнение, объективно давать оценку рукописи, персональная критика автора неприемлема;
- обеспечить редколлегию информацией, необходимой для отправки рукописи на доработку и принятия решения о её публикации;

- соблюдать конфиденциальность, не обсуждать содержание рукописи с другими людьми, не имеющими на то полномочий от редактора журнала;

- не использовать неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, в личных исследованиях без письменного согласия автора;

- не участвовать в рассмотрении рукописей в случае наличия конфликта интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с любым из авторов, компаниями или другими организациями, связанными с представленной работой.

### ***Обязанности редакторов и редколлегии:***

- нести ответственность за принятие коллегиального решения о публикации, соответствующей всем критериям отбора и тематике журнала;

- руководствоваться редакционной политикой журнала;

- оценивать содержание рукописи в соответствии с достоверностью результатов работы и её научной значимостью вне зависимости от других факторов;

- сокращать и редактировать присланные статьи, если это необходимо для повышения качества публикации и достижения соответствия нормативам публикаций;

- при отклонении статьи руководствоваться объективными критериями;

- следить за отсутствием конфликтов интересов между участниками процесса подготовки публикации;

- сохранять анонимность рецензентов;

- не использовать неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, в личных исследованиях без письменного согласия автора;

- обеспечивать публикацию опровержений или исправлений в случае обнаружения ошибок.

Главный редактор журнала «Теоретическая и прикладная экология» самолично, и независимо несёт ответственность за принятие решения о публикации каждой статьи в журнале и в целом за выпуск каждого номера журнала.

### ***Обязанности издательства:***

- издательство должно следовать принципам и процедурам способствующим исполнению этических обязанностей научными редакторами;

- издательство должно оказывать Главному редактору и редколлегии журнала «Теоретическая и прикладная экология» поддержку в рассмотрении претензий к этическим аспектам публикуемых материалов и помогать взаимодействовать с другими журналами и/или издательствами, если это способствует исполнению обязанностей редколлегии.

- издательство должно обеспечивать соответствующую специализированную юридическую поддержку или консультирование редколлегии журнала в случае необходимости.

Индекс 82027, 48482



ISSN 1995-4301



9 771995 430004