



2017

*Теоретическая
и прикладная*

ЭКОЛОГИЯ

ISSN 1995-4301

№ 3



**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ**

**МЕТОДОЛОГИЯ
И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ.
МОДЕЛИ
И ПРОГНОЗЫ**

**МОНИТОРИНГ
АНТРОПОГЕННО
НАРУШЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ**

**ЭКОЛОГИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА**

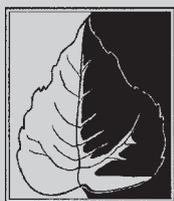
ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

**СОЦИАЛЬНАЯ
ЭКОЛОГИЯ**

**ПОПУЛЯЦИОННАЯ
ЭКОЛОГИЯ**

**ХРОНИКА
СОБЫТИЙ
И МЕРОПРИЯТИЙ**

ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

№ 3, 2017

<http://envjournal.ru>

Журнал включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук

Журнал включён в каталог периодических изданий Ульрих (Ulrich's Periodicals Directory), в библиографические базы Scopus, 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: envjournal2017@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 20.09.2017. Тираж 1150 экз. Заказ № 342.

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

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
- Л.И. Домрачева** д.б.н., профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии
- М.В. Дородников** к. с.-х. н., Университет Гёттингена им. Георга Августа (Германия)
- 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
- Г.М. Зенова** д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Г.Я. Кантор** к.т.н., научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН
- В.Л. Коваленко** к.т.н., доцент Украинского государственного химико-технологического университета
- Е.Ю. Колбовский** д.г.н., профессор, в.н.с. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Э.И. Коломиец** д.б.н., академик НАН Беларуси, директор Института микробиологии НАН Беларуси
- Л.В. Кондакова** д.б.н., профессор Вятского государственного университета
- В.А. Коток** к.т.н., доцент Украинского государственного химико-технологического университета
- А.В. Кучин** д.х.н., академик РАН, профессор, директор института химии Коми НЦ УрО РАН
- В.Н. Лажнецев** д.г.н., академик РАН, профессор, советник РАН
- В.З. Латыпова** д.х.н., академик Академии наук Республики Татарстан, профессор Казанского федерального университета
- Ли Юй** профессор, директор Института микологии Цзилиньского аграрного университета, иностранный член РАН (КНР)
- С.Г. Литвинцев** 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
- Н.В. Мищенко** д.б.н., доцент Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
- А.А. Москалёв** д.б.н., академик РАН, зав. лаб. молекулярной радиобиологии и геронтологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН
- С.В. Пестов** к.б.н., доцент Вятского государственного университета
- С.А. Рубцова** д.х.н., старший научный сотрудник, зам. директора Института химии Коми НЦ УрО РАН
- В.П. Савиных** д.т.н., академик 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
- В.И. Холстов** д.х.н., директор Департамента реализации конвенционных обязательств Министерства промышленности и торговли РФ
- Т.А. Трифонова** д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- М.Х. Хусейн** д.б.н., профессор Университета Ассиут (Египет)



Theoretical and applied ECOLOGY

№ 3, 2017

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 Scopus, 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»
57 a Molodoy Gvardii St., Kirov, 610017

THE EDITORIAL BOARD:

- V.A. Alexeev** 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
- L.I. Domracheva** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State Agricultural Academy
- M.V. Dorodnikov** PhD in Agricultural Sciences, Georg August University of Göttingen (Germany)
- I.E. Dubovik** Doctor in Biology, Professor of Bashkir State University
- G.P. Dudin** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State Agricultural Academy
- G.A. Evdokimova** Doctor in Biology, Professor, Vice-Director of Research Institute of the North Industrial Ecology, Kola SC of RAS
- G.M. Zenova** Doctor in Biology, Professor of Lomonosov Moscow State University
- G.Ya. Kantor** PhD in Technical Sciences, researcher of the Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS
- V.L. Kovalenko** PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Ukrainian State University of Chemical Technology
- E.Yu. Kolbovsky** Doctor in Geography, the leading researcher, Professor of Lomonosov Moscow State University
- E.I. Kolomiyets** Doctor in Biology, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, Director of Institute of Microbiology, National Academy of Sciences of Belarus
- L.V. Kondakova** Doctor in Biology, Professor of Vyatka State University
- V.A. Kotok** PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Ukrainian State University of Chemical Technology
- A.V. Kuchin** Doctor in Chemistry, corresponding member of RAS, Professor, 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** Director of Mycology Institute of Jilin Agricultural University, Foreign Associate of RAS (China)
- S.G. Litvinets** PhD in Agricultural Sciences, 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
- N.V. Mishchenko** Doctor of Biology, Associate Professor of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
- A.A. Moskalev** Doctor in Biology, corresponding member of RAS, 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
- 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
- V.I. Kholstov** Doctor in Chemistry, Professor, Director of the Conventional Obligations Implementation Department of the Industry and Trade Ministry of the Russian Federation
- M.Kh. Hussein** Doctor in Biology, Professor of University of Assiut University (Egypt)

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

А. И. Фокина Использование физиолого-биохимического отклика микроорганизмов на действие токсикантов в биотестировании 4

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. МОДЕЛИ И ПРОГНОЗЫ

Т. А. Адамович, Т. Я. Ашихмина Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий 15

Н. А. Кудряшов, Л. И. Домрачева, Е. О. Великоредчанина Возможные пути интенсификации массового культивирования цианобактерий 25

В. С. Тикунов, О. Ю. Черешня Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации 34

Ю. Н. Зыкова, С. Г. Скугорева, Е. В. Товстик, Т. Я. Ашихмина Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа 38

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО И НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е. В. Яковлева, Д. Н. Габов, В. А. Безносиков Полициклические ароматические углеводороды в *Pleurozium schreberi* в условиях аэротехногенного воздействия 47

Е. Ю. Афонина, А. В. Афонин Оценка состояния гидробиоценозов малых водотоков бассейна р. Аргунь 57

Д. Б. Петренко, О. А. Гладнева, К. А. Ворончихина, Н. В. Васильев Содержание фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона 65

Л. В. Кондакова, Е. В. Дабах Альгосинузии пойменных лугов на техногенной территории 73

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, В. А. Козвонин Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве 85

ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

С. В. Пестов, Н. И. Филиппов, К. Г. Уфимцев, В. В. Володин, С. О. Володина, А. Г. Донцов, И. В. Бешлей Разнообразие антофильных насекомых растений и биохимические особенности нектара интродуцентов рода *Serratula* 91

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

С. Х. Солтанов, Х. Б. Юнусов Использование зооиндикатора *Viviparus viviparus* L. для оценки масштабов экологической опасности и степени токсичности технической авиационной жидкости «Skykem» 97

СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Т. В. Полежаева, А. Н. Худяков, М. И. Сергушкина, И. Г. Широких, А. А. Широких, О. М. Безмельцева, О. Н. Соломина, О. О. Зайцева Траметоидные трутовики Русской равнины как источник полисахаридов с криопротекторными свойствами 103

Д. Г. Домрачев, А. А. Кирилловых К вопросу о реализации экологического контроля и надзора в Российской Федерации: вопросы теории и практики 110

Дополнения к правилам для авторов 120

CONTENTS

THEORETICAL PROBLEMS OF ECOLOGY

- A. I. Fokina** The use of physiological and biochemical reactions of microorganisms on the action of toxicants in bioassay4
- T. A. Adamovich, T. Ya. Ashikhmina** Aerospace methods in the system of geoecological monitoring of natural and anthropogenic areas15

METHODOLOGY AND RESEARCH METHODS. MODELS AND FORECASTS

- N. A. Kudryashov, L. I. Domracheva, E. O. Velikoredchanina** Possible ways to intensify mass cultivation of cyanobacteria 25
- V. S. Tikunov, O. Yu. Chereshnia** The pollution index and the index of the ecological tension in the regions of the Russian Federation34
- Yu. N. Zykova, S. G. Skugoreva, E. V. Tovstik, T. Ya. Ashikhmina** Estimation of the state of urban soils by methods of biotesting using organisms of different systematic accessory and chemical analysis data38

MONITORING OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED AREAS

- E. V. Yakovleva, D. N. Gabov, V. A. Beznosikov** Polycyclic aromatic hydrocarbons in *Pleurozium schreberi* under the aerotechnogenic impact47
- E. Yu. Afonina, A. V. Afonin** Assessment of hydrobiocenoses in the small rivers of Argun river basin57
- D. B. Petrenko, O. A. Gladneva, K. A. Voronchikhina, N. V. Vasiliev** Content of fluoride ions in surface waters in urbanized territories of the Moscow region65
- L. V. Kondakova, E. V. Dabah** Algosynusia of floodplain meadows in the technogenic territory73

ECOLOGIZATION OF PRODUCTION

- A. V. Sazanov, Yu. N. Terentyev, N. V. Syrchina, T. Ya. Ashikhmina, V. A. Kozvonin** Production of bioorganomineral fertilizers as the direction of realization of wastefree technologies in pig-breeding85

POPULATION ECOLOGY

- S. V. Pestov, K. G. Ufimtsev, V. V. Volodin, S. O. Volodina, A. G. Dontsov, N. I. Filippov, I. V. Beshley** Anthophylous insects diversity and biochemical specificity of nectar and of the genus *Serratula*91

ECOTOXICOLOGY

- S. Kh. Soltanov, Kh. B. Yunusov** Using the zooinicator *Viviparus viviparus* L. in order to identify environmental hazards from technical aviation fluid «Skykem»97

SOCIAL ECOLOGY

- T. V. Polezhayeva, A. N. Khudyakov, M. I. Sergushkina, I. G. Shirokikh, A. A. Shirokikh, O. M. Bezmeltseva, O. N. Solomina, O. O. Zaytseva** Polypores of the Russian Plain as a source of polysaccharides with cryoprotective properties103
- D. G. Domrachev, A. A. Kirillovyh** On implementation of environmental monitoring and surveillance in the Russian Federation: issues of theory and practice110
- Additions to the rules for authors120

Использование физиолого-биохимического отклика микроорганизмов на действие токсикантов в биотестировании

© 2017. А. И. Фокина, к. б. н., доцент,
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
e-mail: annushka-fokina@mail.ru

В обзоре рассматриваются современные тенденции использования метаболических реакций микроорганизмов (МО) на действие различных токсикантов в методиках биотестирования. Отмечено использование таких биохимических показателей, как ферментативная активность, интенсивность биохемилюминесценции (БХЛ), перекисное окисление липидов (ПОЛ), состояние пигментного комплекса, выделение экзо- и эндометаболитов (азот-, серосодержащих соединений, органических кислот, полисахаридов и т. д.), способствующих детоксикации поллютантов. Совершенствование методик биотестирования направлено в сторону усиления таких их характеристик, как автоматизация, экономичность и экспрессность, использование чувствительных, способных к специфичной и/или интегральной ответной реакции МО. Процесс автоматизации методик направлен на создание биоаналитических устройств (биосенсоры) и их миниатюрных аналогов – биочипов, в которых в качестве чувствительного элемента используют неразрушенные живые клетки МО. Такая организация биосенсоров позволяет повысить экономичность их использования. Наибольшее распространение нашли биосенсоры оптического и электрохимического типов. Так как проявление аналитического эффекта при действии экотоксикантов на биохимические системы МО зависит от многих факторов, что может значительно затруднять интерпретацию результатов биотестирования, при разработке методик используют организмы, обладающие специфическим откликом на отдельные токсиканты или группы токсикантов. Большой прогресс в этом направлении достигнут при определении органических соединений: нафталина, фталатов и т. д. Имеются подобные разработки для определения тяжёлых металлов (ТМ). Несмотря на то, что современной тенденцией при разработке методик биотестирования является использование специфичных реакций МО на действие токсикантов, определение интегральной токсичности (традиционный подход) объектов окружающей среды, благодаря необходимости оценки степени их токсичности в целом, остаётся актуальным и востребованным.

Ключевые слова: биохимические показатели, микроорганизмы, токсикант, тест-функции, микробиологическая диагностика.

The use of physiological and biochemical reactions of microorganisms on the action of toxicants in bioassay

A. I. Fokina,
Vyatka State University,
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: annushka-fokina@mail.ru

This review discusses the current trends in the use of the metabolic reactions of microorganisms (MO) to the effect of various toxicants in bioassay techniques. The use of such biochemical indicators as enzymatic activity, the intensity of biochemiluminescence (BHL), lipid peroxidation (LPO), the state of the pigment complex, the release of exo- and endo-metabolites (nitrogen, sulfur compounds, organic acids, polysaccharides, etc.) contribute to detoxification of pollutants. Improvement of bioassay techniques aims at strengthening their characteristics, such as automation, economy and speed, the use of sensitive MO, capable of specific and/or integral response. The process of automation of the techniques aims at creation of bioanalytical devices (biosensors) and their miniature analogues – biochips, in which intact alive MO cells are used as a sensitive element. Such organization of biosensors allows to increase the economy of their use. The most widely used biosensors are the ones of optical and electrochemical types. Since manifestation of the analytical effect under the ecotoxicants action on the biochemical systems of MO depends on many factors, which can significantly complicate the interpretation of the results of bioassay, then during the development of techniques such organisms are used, which have a specific response to individual toxicants or groups of toxicants. Great progress in this direction was made in determining organic compounds: naphthalene, phthalates, etc. There are similar developments for determination of heavy metals

(НМ). Despite the fact that the current trend in development of bioassay methods is the use of specific MO responses to toxicants, determination of the integrated toxicity (traditional approach) of environmental objects, due to the need to assess the degree of their toxicity in general, remains relevant and in demand.

Keywords: biochemical parameters, microorganisms, toxicant, test-functions, microbiological diagnostics.

Использование физиолого-биохимического отклика микроорганизмов (МО) на действие токсикантов давно вошло в практику экологического мониторинга. Спектр изучаемых и используемых в качестве тест-функций показателей широк, однако можно выделить основные из них.

Показатели физиолого-биохимических реакций как тест-функции

Существует много литературных данных, посвящённых результатам исследования влияния токсикантов на метаболизм МО. Учёные отмечают наличие ответной реакции ферментативных систем МО [1–3]. Так, например, под действием поллютантов изменяется дегидрогеназная активность. Сущность метода биотестирования, в основе которого лежит изучение изменения дегидрогеназной активности, состоит в том, что в живых клетках 2,3,5-трифенилтетразолий хлорид (ТТХ), акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в кристаллы 2,3,5-трифенилформазана, имеющие красную или малиновую окраску. Результат указанной реакции в популяциях цианобактерий (ЦБ) можно наблюдать под микроскопом, дифференцируя клетки с кристаллами формазана, учитывая их как жизнеспособные, и клетки без формазана, считая их погибшими после воздействия токсикантов. Токсичными считают варианты, в которых доля клеток с кристаллами не превышает 50% [4].

Чувствительным показателем на действие ионов ТМ является активность каталазы. Установлено, что при действии в течение суток на биоплёнку с доминированием ЦБ рода *Phormidium* ионов Cu^{2+} (20 мг/дм³) активность каталазы изменяется в 5 раз, активность дегидрогеназы – почти в 357 раз, что можно использовать в качестве тест-функций при биотестировании [5].

Одним из самых распространённых показателей, используемых как для оценки специфического отклика на действие токсикантов, так и при определении интегральной (неспецифической) токсичности, является явление биолюминесценции (экологическая люминиметрия) [6]. Биолюминесценция – частный

случай хемилюминесценции, катализируемой биологическими катализаторами – ферментами люциферазами. Фермент люцифераза – смешанная оксидаза окисляет длинноцепочечные альдегиды до карбоновых кислот, восстанавливая флавиномононуклеотид (ФМН), при этом происходит испускание голубовато-зелёного света. Интенсивность испускания зависит от уровня метаболизма и целостности клеток МО [7], которые, в свою очередь, зависят от действия экотоксикантов. Для определения специфической токсичности используют активность свечения мутантов или генно-инженерных штаммов со встроенным комплексом сенсорных и люминесцентных генов, об интегральной токсичности судят по уровню тушения свечения в природных штаммах микроорганизмов. Отмечена зависимость между интенсивностью БХЛ почвенных ЦБ и концентрацией ионов ТМ в растворе, в частности, ионов Cu^{2+} . Так, например, интенсивность БХЛ природных штаммов почвенных цианобактерий рода *Phormidium* при действии Cu^{2+} (2 мг/дм³) в течение суток уменьшается в 1,3–100 раз, в вариантах с большей концентрацией Cu^{2+} (20 мг/дм³) в 8,6–200 раз, что можно использовать в качестве тест-функций при биотестировании [5]. Данным методом удаётся установить наличие токсичности растворов с концентрацией ионов металлов менее ПДК в воде питьевого назначения [8, 9]. Предложена методика определения токсичности водных вытяжек из галитовых отходов и глинисто-солевых шламов, образующихся при производстве калийных удобрений, по снижению уровня флуоресценции хлорофилла морской водоросли *Phaeodactylum tricornerutum* [10]. Бактерии, экспрессирующие флуоресцентный белок, в клеточной суспензии могут быть детектированы с использованием обычного флуориметра, а на уровне одной клетки – методами эпифлуоресцентной микроскопии и проточной цитофлуориметрии [11, 12]. Несмотря на большое распространение методик биотестирования, в основу которых легло явление биолюминесценции, их применение может быть затруднительно. Сложность обусловлена тем, что на зависимость «доза токсиканта – интенсивность люминесценции» влияет множество факторов, начиная от приро-

ды излучения, заканчивая присутствием посторонних веществ и т. д. Например, в процесс появления аналитического сигнала может вмешаться концентрационное тушение люминесценции: тривиальная абсорбция, когда одна молекула испускает квант света, другая его поглощает, гасит; ингибирование люминесценции за счёт процесса связывания посторонних соединений с активными центрами фермента или взаимодействие с субстратами реакции. Распространены случаи, когда сходные по строению токсиканты проявляют противоположное действие. Примером является действие солей d-металлов. Катионы с зарядом 2^+ с вакантными d-орбиталями (Mn^{2+} , Co^{2+} и Ni^{2+}) активируют биолюминесценцию светящихся бактерий, а катионы без вакантных d-орбиталей (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} и Hg^{2+}) ингибируют её [13]. Поэтому результаты биолюминесцентного анализа с использованием МО могут быть достаточно противоречивы, а его использование затруднено.

Ответной реакцией на действие токсикантов является изменение перекисного окисления липидов (ПОЛ), окислительная деградация липидов под действием свободных радикалов, активаторами которых могут быть ионы ТМ, токсиканты органической природы и т. д. [14]. Так, у биоплёнок с доминированием ЦБ рода *Phormidium* после контакта в течение часа с ионами Cu^{2+} (20 мг/дм^3) усиливается ПОЛ. Через сутки экспозиции МО адаптируются, о чём свидетельствует снижение интенсивности ПОЛ [15]. Активация ПОЛ является ранней ответной реакцией на стресс-факторы [16, 17].

В качестве показателя окислительного стресса может также служить количество карбонильных групп в белках как одного из общепринятых критериев окислительного стресса [18, 19].

Различные токсиканты влияют на пигментный комплекс МО. Предполагают, что механизм воздействия основан на дестабилизации белково-пигментного комплекса, что нарушает функционирование пигментных систем [20].

В ответ на действие поллютантов как неорганической, так и органической природы, МО могут выделять азотсодержащие соединения [21], экзополисахариды [22, 23], глутатион [24–27], органические кислоты [28], образование которых способствует детоксикации веществ благодаря наличию функциональных групп, связывающих токсиканты.

Таким образом, результаты изучения физиолого-биохимического отклика перспек-

тивны для характеристики МО и для решения прикладных задач, в том числе в экомониторинге, как сигнал о присутствии экотоксикантов, а сила сигнала – количественная характеристика токсичности.

Совершенствование методик биотестирования направлено в сторону усиления таких их характеристик, как автоматизация, экономичность и экспрессность, использование чувствительных, способных к специфичной и/или интегральной ответной реакции МО.

Автоматизация методов биотестирования

Автоматизация может затрагивать как один из этапов биотестирования (регистрацию сигнала, обработку результатов, интерпретацию результатов и т. п.), так и ряд этапов одновременно. Процесс автоматизации позволяет внедрять методы биотестирования в поточные анализы и значительно повышать объективность исследований. Поэтому последние 35 лет отмечены всплеском в области развития биосенсоров. Вопросы возможности и перспектив практического использования микробных биосенсоров для анализа широкого круга веществ освещены в работе [29].

Биосенсоры – биоаналитические устройства, позволяющие использовать высокочувствительные методы измерения содержания химических соединений или биологических эффектов в образцах. Принцип детекции, реализованный в биосенсорах, основан на том, что биоматериал (ферменты, клетки, антитела и др.), иммобилизованный на физическом датчике (преобразователе), при взаимодействии с определяемым соединением генерирует зависимый от его концентрации сигнал, который регистрируется преобразователем электрохимического, оптического или иного типа и после обработки данных представляется в численном виде. Свойство биологических макромолекул селективно и с высокой чувствительностью «узнавать» различные соединения делает возможным создание биосенсоров для анализа широкого спектра веществ. Простота устройства, оперативность, специфичность и низкая стоимость биосенсорного анализа создают высокую степень приоритета дальнейшему развитию этой области аналитической биотехнологии [30]. При создании биосенсора, особенно для решения экологических задач, необходимо учитывать такие важные параметры, как лёгкость и скорость выявления детектируемого соединения, экономическая

эффективность, чувствительность этого инструмента, его размеры и простоту эксплуатации [31, 32]. Больше распространение при разработке микробных сенсоров для экомониторинга нашли два типа преобразователей: электрохимические (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические) и оптические (на основе абсорбции, флуоресценции, люминесценции) [33]. Основное число публикаций посвящено разработкам с использованием микробных биосенсоров оптического типа [34]. Аналитическим сигналом в оптических биосенсорах может служить, например, изменение свечения под действием поллютантов. Примером использования электрохимического преобразователя может быть процесс регистрации в системе образующегося кислорода с помощью амперометрического датчика. Действие биосенсора данного типа основано на том, что изменение концентрации кислорода, регистрируемое при помощи электрода, позволяет судить о дыхательной активности иммобилизованных на поверхности электрода бактерий и, следовательно, о содержании окисляемых ими соединений [35]. Кроме оптических и электрохимических датчиков используют и другие устройства, например, хроматографические [36].

На первых этапах в качестве чувствительного элемента датчика использовали ферменты и компоненты клеток МО. Только в начале XXI века стали развиваться направления использования неразрушенных микробных клеток [37, 38]. Для оценки реального действия токсичных соединений на живые системы в качестве модельного объекта в биосенсорах часто применяют живые клетки различных организмов [40, 41]. Например, цельноклеточные биосенсоры способны дать информацию об основных процессах, происходящих в почве, и представляют собой беспрецедентно чувствительные инструменты мониторинга состояния почв [39]. Клетки бактерий, как правило, легко выращиваются в культуре, что обеспечивает их экономическое преимущество перед такими альтернативными биологическими компонентами, используемыми в современных биосенсорах, как ферменты и антитела [42].

Разработка специфичных тест-систем

Существенным минусом при экологической оценке состояния объектов окружающей среды является неоднозначность физиолого-биохимического отклика МО. К сожалению,

эта особенность свойственна практически всем биохимическим системам. Отчасти поэтому разрабатываются тест-системы, обладающие специфическим откликом на действие конкретных токсикантов, способных «узнавать» одно соединение в исследуемой среде [43–45]. Создание специфичных биосенсоров – это уникальное решение аналитических задач, таких как определение конкретных экотоксикантов в окружающей среде. Существуют биосенсоры группового определения, «узнающие» целую группу веществ, например, на основе *Escherichia coli* созданы биосенсоры чувствительные и специфичные к антибиотикам тетрациклинового ряда [46].

Обнаружение органических соединений

В последние годы разработано множество специфических биосенсоров для определения органических соединений. Органические соединения являются главными загрязнителями окружающей среды, и они стали основной мишенью развития цельноклеточных биосенсоров. В определении органических соединений активно развивается амперометрический метод. Суть заключается в том, что действие некоторых ксенобиотиков на аэробные МО приводит к изменению их дыхательной активности, обусловленной, в том числе, окислением органического токсиканта оксидоредуктазами МО с потреблением молекулярного кислорода. При этом с помощью амперометрического датчика, который находится вблизи чувствительного элемента (иммобилизованные МО), измеряется количество растворённого кислорода. Концентрация последнего зависит от концентрации органического соединения, вызывающего изменения метаболизма МО. Кроме того, при разработке биосенсоров на любой органический поллютант руководствуются тем, чтобы для штамма МО определяемый углеводород был единственным источником углерода, то есть штамм проявлял специфичность. Так, например, были разработаны детекторы для определения нафталина, бифенила, хлорированных бензоатов и т. п. В биосенсоре для деградации нафталина использовали бактерии *Pseudomonas putida*, несущие плазмиду его деградации. Процесс биodeградации осуществляется микробными оксигеназами и протекает с потреблением кислорода. На основе таких штаммов возможно создавать рецепторные элементы биосенсоров для детекции нафталина с использованием в качестве преобразователя кислородный электрод [47]. Установлено, что дрожжи р. *Arxula* и бактерии

р. *Gluconobacter* обеспечивают высокую чувствительность сенсоров к спиртам и сахарам. Значение биологического потребления кислорода (БПК), полученное стандартным методом разбавления, совпадает с индексом БПК, полученным при измерении биосенсорами на основе этих МО. Показано, что созданные лабораторные модели биосенсоров могут быть эффективно использованы для оперативной оценки БПК стоков пищевых производств [48]. Амперометрический подход реализуется при определении в водном растворе ди-(2-этилгексил)-фталата с помощью актинобактерий *Rhodococcus wratislaviensis* VKM Ac-2631 D [49], а штамм *Alcaligenes xylosoxydans* subsp. позволяет определить тиодигликоль [50]. Была создана лабораторная модель биосенсора, модифицированного штаммом бактерий р. *Pseudomonas*, являющихся деструкторами нефтяных углеводородов [51].

Разработана система, предназначенная для быстрого обнаружения и определения 2,4-динитрофенола и нитрита в водных растворах. Система содержит четыре биосенсора, преобразователями в которых являются погружённые в проточные ячейки электроды Кларка, в качестве биорецепторов первый и третий мембранные биосенсоры содержат иммобилизованные на носителе клетки *Rhodococcus erythropolis* HL PM-1, четвёртый мембранный биосенсор содержит иммобилизованные на носителе клетки бактерий *Nitrobacter vulgaris* DSM10236, второй биосенсор выполнен в виде реактора колоночного типа с иммобилизованными на носителе клетками бактерий *Rhodococcus erythropolis* HL PM-1, при этом электрод Кларка размещён на выходе реактора биосенсора, а проточные ячейки биосенсоров последовательно соединены между собой. Предложены также биосенсор для определения 2,4-динитрофенола (ДНФ) и биосенсор для определения нитрит-ионов. При определении 2,4-ДНФ и нитрита биосенсорная система обеспечивает высокую чувствительность и селективность, позволяет определять наличие данных веществ одновременно [52].

Использование кислородного датчика удобно не только для разработки биосенсоров, но и для физиолого-биохимической характеристики микроорганизмов.

Кроме электрохимических датчиков при определении органических веществ, ещё более широкое применение находят оптические сенсоры. Так, уже зарекомендовали себя оптические биосенсоры, основанные на определении интенсивности БХЛ.

Кроме биосенсоров оптического и амперометрического типов, существуют и другие варианты преобразователей аналитического сигнала МО. Например, изучено влияние углеродных наноматериалов (углеродные нанотрубки, терморасширенный и пиролитический графит) на биоэлектрохимическую активность бактериальных клеток *Gluconobacter oxydans* при сорбционном контакте с наноматериалами. Для иммобилизации бактерий поверхность рабочего биоэлектрода модифицировали, нанося на него суспензию бактерий в исследуемом наноматериале и хитозане. Оценивали биоэлектрохимические характеристики электрода (амплитуду генерируемого потенциала, циклические вольтамперные характеристики, сопротивление) до и в процессе взаимодействия бактерий с этиловым спиртом (3-электродная схема измерения). Модификация электрода из спектрального графита углеродными нанотрубками позволяла уменьшить сопротивление переноса заряда на 48% и увеличить ток окисления на циклических вольтамперных характеристиках при напряжении в 200 мВ на 21%, по сравнению с немодифицированным электродом. Данный приём можно использовать для увеличения чувствительности прибора и, соответственно, расширения области определяемых концентраций спирта [53].

Детекция токсичности среды, обусловленной солями тяжёлых металлов

Кроме биосенсоров, для определения показателей, связанных с органическими веществами, существует немало биосенсоров, предназначенных для детекции токсичности сред, обусловленных ТМ.

Попадание ионов металлов в клетки индуцирует синтез ферментов, необходимых для обеспечения резистентности клеток к токсическому действию. Основываясь на существовании механизмов резистентности, были разработаны специфические тест-системы для оценки содержания ионов в окружающей среде, например, ртути, хрома, кадмия, меди, алюминия, сурьмы, никеля, мышьяка. Существует биосенсор, содержащий клетки фотоавтотрофных микроводорослей, флуоресцентные характеристики фотосинтетической системы которых изменяются при появлении в их окружении соединений ТМ, обладающих цитотоксичным действием. Клетки зелёных и диатомовых водорослей иммобилизуют в криогеле поливинилового спирта: наносят клеточную суспензию на поверхность, затем вводят клетки в макропоры полимерного но-

сителя и получается высокочувствительный и стабильный биосенсор [54]. Выделены два перспективных для биотестирования штамма, идентифицированные генетическими методами до вида (*Vibrio fischeri* ВКПМ В-9579 и *V. fischeri* ВКПМ В-9580) и принятые на национальное патентное депонирование. Выделенные штаммы биолюминесцентных бактерий отличаются высокой индивидуальной чувствительностью к солям ТМ (на уровне предельно допустимых концентраций для воды рыбохозяйственных водоёмов) [55].

При разработке биосенсоров изучают возможность реализации методики в условиях многокомпонентных систем. Например, при создании биосенсора для определения БПК исследуют влияние ионов ТМ на аналитический сигнал. Показано, что биосенсор, работа которого основана на окислительной способности *Debaryomyces hansenii*, устойчив к ингибирующему действию многих ионов ТМ. Факторами, ограничивающими работу биосенсора в довольно широких пределах, являются солёность (до 25%), рН (6,8–7,2) и температура раствора (15–25 °С) [56].

Использование специфичных реакций МО на действие токсикантов даёт мало сведений об интегральной токсичности объектов окружающей среды, обусловленной не только качественными и количественными характеристиками компонентов исследуемых систем, но и взаимным влиянием данных компонентов. Поэтому традиционный подход, заключающийся в определении интегральных показателей токсичности, благодаря необходимости оценки степени токсичности объектов исследования в целом, остаётся актуальным и востребованным. Так, измерение содержания растворённого кислорода вблизи чувствительного элемента, на который нанесены клетки МО, лежит в основе многочисленной группы методик определения БПК, являющегося показателем качества вод различного назначения. Для этих целей возможно использовать бактерии *Escherichia coli*, благодаря широкому кругу окисляемых органических веществ. Данный вид МО является перспективным в качестве основы рецепторного элемента биосенсоров для оценки токсичности бытовой продукции, позволяет получать данные с высокой корреляцией к стандартным методам гигиенической оценки. Для *E. coli* разработаны количественные критерии оценки токсичности товаров из полимерных и текстильных материалов с использованием микробного биосенсора на основе кислородного электрода [47].

Существуют биосенсоры на основе *B. subtilis* и *Paenibacillus* sp. для определения БПК в сточных водах целлюлозно-бумажной промышленности [57]. Исследована возможность определения БПК с помощью *Debaryomyces hansenii* ВКМ У-2482 [58–60]. Предложен биосенсор для определения загрязнённости воды органическими веществами на основе определения БПК, включающий электрод Кларка, сопряжённый с биорецептором, содержащем иммобилизованные на носителе клетки штамма дрожжей *Arxula adenivorans* ВКМ У-2676 или клетки штамма дрожжей *A. adenivorans* ВГИ 78(6) [61]. Среди аналитических систем с оптическими преобразователями сигнала, следует отметить биосенсор «Эколюм» (тест-система), который обладает очень широким спектром действия на разнообразные химические соединения: ТМ, пестициды, фенолы, углеводороды и т. д. Сущность метода основана на тушении свечения бактерий загрязнителями различной природы. Уменьшение интенсивности свечения обратно пропорционально токсическому эффекту. Критерием токсического действия является изменение величины интенсивности биолюминесценции тест-объекта в исследуемой пробе по сравнению с контрольной пробой, не содержащей токсических веществ. Количественная оценка параметра тест-реакции выражается в виде безразмерной величины – индекса токсичности [62].

Одним из этапов совершенствования биосенсоров является их миниатюризация. Миниатюрные биосенсоры – биочипы (микроматрицы), с нанесёнными на них клетками микроорганизмов – перспективнейшая область развития биосенсоров [63].

Заключение

Для создания методик биотестирования исследуют, а затем используют такие биохимические показатели, как ферментативная активность, интенсивность биолюминесценции, ПОЛ, состояние пигментного комплекса, выделение экзо- и эндометаболитов (азот-, серосодержащих соединений, органических кислот, полисахаридов и т. д.), способствующих детоксикации поллютантов.

Основными тенденциями при разработке методик биотестирования является усиление таких их характеристик, как автоматизация, экономичность и экспрессность тестирования, использование чувствительных, способных к специфичной или, наоборот, интегральной

ответной реакции микроорганизмов. Одно из направлений внедрения автоматизированных методик – создание таких биолого-аналитических устройств как биосенсоры и их миниатюрные аналоги – биочипы.

Использование в биосенсорах живых микроорганизмов позволяет снизить стоимость анализа по сравнению с использованием для этих целей компонентов клетки и оценить более реальное действие токсичных соединений на живые системы.

Аналитическое выявление эффекта при действии экотоксикантов на биохимические системы МО зависит от многих факторов, что может значительно затруднять интерпретацию результатов биотестирования. При разработке новых методик стараются использовать организмы, обладающие специфическим откликом на отдельные токсиканты или группы токсикантов. Большой прогресс в этом направлении достигнут при определении органических соединений: нафталина, фталатов и т. д. Имеются соответствующие разработки для определения ТМ.

Современной тенденцией при разработке методик биотестирования является использование специфичных реакций МО на действие токсикантов, однако определение интегральной токсичности (традиционный подход) объектов окружающей среды, благодаря необходимости оценки степени их токсичности в целом, остаётся актуальным и востребованным.

Выполнено в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» № 5. 4962.2017/БЧ.

Литература

1. Rai A.N. Nitrogenase derepression, its regulation and metabolic changes associated with diazotrophy in the non-heterocystous cyanobacterium *Plectonema boryanum* PCC 73110 // Journal of General Microbiology. 1992. V. 138. No. 3. P. 481–491.
2. Андреев Е.И., Иутинская Г.А., Валагурова Е.В., Козырницкая В.Е., Иванова Н.И., Остапенко А.Д. Иерархическая система биоиндикации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1491–1496.
3. Валова Е.Е., Цыбенков Ю.Б., Цыбикова Е.В. Влияние тяжёлых металлов на ферментативную активность почвы // Учёные записки ЗабГГПУ: Экология. 2012. № 1. С. 63–66.

4. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И., Ашихмина Т.Я. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

5. Фокина А.И., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И., Лялина Е.И., Горностаева Е.А., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В. Цианобактерии как тест-организмы и биосорбенты // Почвоведение. 2017. № 1. С. 77–85.

6. Куц В.В., Аленина К.А., Сенько О.В., Ефременко Е.Н., Исмаилов А.Д. Билюминесцентный мониторинг экотоксикантов (Экологическая люминометрия) // Вода: химия и экология. 2011. № 10. С. 47–53.

7. Понаморева О.Н. Бактериальные биосенсоры для экологического мониторинга углеводородов нефти: мини-обзор // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2010. № 2. С. 273–280.

8. Горностаева Е.А., Фокина А.И., Лаптев Д.С., Огородникова С.Ю., Жавороков В.И. Влияние ионов меди(II) на биохемилюминесценцию почвенных цианобактерий // Адаптационные реакции живых систем на стрессорные воздействия: Материалы всероссийской молодёжной конференции. Киров, 2012. С. 114–120.

9. Горностаева Е.А., Фокина А.И., Лаптев Д.С., Огородникова С.Ю., Жавороков В.И., Зворыгина В.М. Биохемилюминесценция почвенных цианобактерий рода *Phormidium* в условиях загрязнения среды медью(II) и никелем(II) // Адаптационные реакции живых систем на стрессорные воздействия: Материалы всероссийской молодёжной конференции. Киров, 2012. С. 120–123.

10. Жмур Н.С. Методика определения токсичности водных вытяжек из галитовых отходов и глинисто-солевых шламов, образующихся при производстве калийных удобрений, по снижению темпа роста (снижению численности клеток) и снижению уровня флуоресценции хлорофилла морских водорослей *Phaeodactylum tricorutum*. М.: АКВАРОС, 2016. 36 с.

11. Tombolini R., Unge A., Davey M.E., de Bruijn F.J., Jansson J.K. Flow cytometric and microscopic analysis of GFP-tagged *Pseudomonas fluorescens* bacteria // FEMS Microbiol. Ecol. 1997. V. 22. No. 1. P. 17–28.

12. Jha R.K., Kern T.L., Fox D.T., Strauss C.E.M. Engineering an acinetobacter regulon for biosensing and high-throughput enzyme screening in *E. coli* via flow cytometry // Nucleic Acids Res. 2014. V. 42. No. 12. P. 8150–8160.

13. Кудряшова Н.С., Кратасюк В.А., Есимбекова Е.Н. Физико-химические основы билюминесцентного анализа. Красноярск, 2002. 154 с.

14. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.

15. Fokina A.I., Ogorodnikova S.Y., Kondakova L.V., Gornostaeva E.A., Zytkova Y.N., Domracheva L.I. Adaptation potential of naturally occurring cyanobacterial biofilms

dominated by *Phormidium* spp. // Contemporary Problems of Ecology. 2015. T. 8. No. 6. P. 695–702.

16. Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // Успехи современной биологии. 1991. Т. 111. № 6. С. 923–931.

17. Morelli E., Cioni P., Posarelli M., Gabellieri E. Chemical stability of CdSe quantum dots in seawater and their effects on a marine microalga // Aquat. Toxicol. 2012. P. 153–162.

18. Lushchak V.I. Budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a model to study oxidative modification of proteins in eukaryotes // Acta Biochim. Polon. 2006. V. 53. No. 4. P. 679–684.

19. Dalle-Donne I., Aldini G., Carini M., Colombo R., Rossi R., Milzani A. Protein carbonylation, cellular dysfunction, and disease progression // J. Sell Mol. Med. 2006. V. 10. No. 2. P. 389–406.

20. Рублёва И.М., Ирбе И.К., Мерещанова А.Ю., Басова Е.Е. Фотосинтез как индикатор устойчивости альгокультуры к тяжёлым металлам // 1 Всерос. конф. фотобиологов. Пущино, 1996. С. 45–46.

21. Кадырова Г.Х., Расулов Б.А., Джаббарова О.И., Халилов И.М. Биовосстановление засоленных почв цианобактериями // Микроорганизмы и биосфера: Тезисы Международной научной конференции. М., 2007. С. 49–50.

22. Hasanova L.A., Ivanov A.YU., Polyakova L.R., YApparova E.H.I., Hasanova Z.M. Study of the stability of *Anacystis nidulans* Drouert cells (Cyanophyta) // Aġgologiya. 1999. T. 9. No. 2. P. 150 (in Russian).

23. Sozic M., Duony T.T., Boutry S., Coste M. Modulation de la toxicité des métaux vis-à-vis du développement des biofilms de cours d'eau (basin versant de Decazeville, France) // Coste Michel. Cryptogamie. Algol. 2008. V. 29. No. 3. P. 201–216.

24. Смирнова Г.В., Закирова О.Н., Октябрьский О.Н. Роль антиоксидантных систем в отклике бактерий *Escherichia coli* на тепловой шок // Микробиология. 2001. Т. 70. № 5. С. 595–601.

25. Октябрьский О.Н., Смирнова Г.В. Редокс-регуляция клеточных функций // Биохимия. 2007. Т. 72. Вып. 2. С. 158–174.

26. Октябрьский О.Н., Музыка Н.Г., Ушаков В.Ю., Смирнова Г.В. Роль тиоловых редокс-систем в отклике бактерий *Escherichia coli* на пероксидный стресс // Микробиология. 2007. Т. 76. № 6. С. 759–765.

27. Смирнова Г.В., Лепехина Е.В., Музыка Н.Г., Октябрьский О.Н. Роль тиоловых редокс-систем при ответе бактерий *Escherichia coli* на стрессовые воздействия температур и антибиотиков // Микробиология. 2016. Т. 85. № 1. С. 26–35.

28. Arwidsson Z., Allard V. Remediation of metal-contaminated soil by organic metabolites from fungi II – metal redistribution // Water Air and Soil Pollution. 2010. No. 207. P. 5–18.

29. Решетилов А.Н., Плеханова Ю.В., Тарасов С.Е., Арляпов В.А., Колесов В.В., Гуторов М.А., Готов-

цев П.М., Васильев Р.Г. Влияние некоторых углеродных наноматериалов на окисление этилового спирта бактериальными клетками *Gluconobacter oxydans* // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53. № 1. С. 115–122.

30. Решетилов А.Н. Электрохимические биосенсоры на основе микробных клеток, ферментов и антител: Дис. ... докт. хим. наук. М., 1998. 450 с.

31. Tecon R., Van der Meer J.R. Bacterial biosensors for measuring availability of environmental pollutants // Sensors. 2008. V. 8. No. 7. P. 4062–4080.

32. Van der Meer J.R., Belkin S. Where microbiology meets microengineering: design and applications of reporter bacteria // Nat. Rev. Microbiol. 2010. V. 8. No. 7. P. 511–522.

33. Понаморёва О.Н. Бактериальные биосенсоры для экологического мониторинга углеводородов нефти: мини-обзор // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2010. Вып. 2. С. 273–280.

34. Rogers K.R. Chip-based biosensors for environmental monitoring. Review // Part six, chab. 75 (p. 1–7) in handbook of biosensors and biochips. V. 2. Wiley-Interscience, 2007. 1500 p.

35. Riedel K., Kunze G., König A., Microbial sensors on a respiratori basis for wastewater monitoring // Adv. Biochem. eng. Biotechnol. 2002. No. 75. P. 81–118.

36. Mehta J., Sanjeev K. Bhardwaj, Bhardwaj N., Paul A.K., Kumar P., Kim Ki-H., Deep A. Progress in the biosensing techniques for trace-level heavy metals // Biotechnology Advances. V. 34. № 1. January–February 2016. P. 47–60.

37. Кудряшов А.П. Биосенсорные устройства: Курс лекций. Минск: БГУ, 2003. 110 с.

38. Ponomareva O.N., Arlyapov V.A., Alferov V.A., Reshetilov A.N. Microbial biosensors for detection of biological oxygen demand (Review) // Applied Biochemistry and Microbiology. January 2011. V. 47. P. 1–11.

39. Renella G., Giagnoni L. Light dazzles from the black box: whole – cell biosensors are ready to inform on fundamental soil biological processes // Chem. Biol. Technol. Agric. 2016. 3:8. P. 1–15.

40. Belkin S. Microbial whole-cell sensing systems of environmental pollutants // Curr. Opin. Microbiol. 2003. V. 6. No. 3. P. 206–212.

41. Van der Meer J.R., Tropel D., Jaspers M.C.M. Illuminating the detection chain of bacterial bioreporters // Environ. Microbiol. 2004. V. 6. No. 10. P. 1005–1020.

42. Wells M. Advances in optical detection strategies for reporter signal measurements // Curr. Opin. Biotechnol. 2006. V. 17. No. 1. P. 28–33.

43. Xu T., Close D., Smartt A., Ripp S., Sayler G. Detection of organic compounds with whole-cell bioluminescent bioassays // Adv. Bbiochem. Eng. Biotechnol. 2014. V. 144. P. 111–151.

44. Liu X., Germaine K., Ryan D., Dowling D.N. Whole-cell fluorescent biosensors for bioavailability and biodegradation of polychlorinated biphenyls // Sensors. 2010. V. 10. No. 2. P. 1377–1398.

45. Tecon R., Van der Meer J.R. Bacterial transcriptional regulators for degradation pathways of aromatic compounds // *Microbiol. Mol. Rev.* 2004. V. 68. No. 3. P. 474–500.
46. Котова В.Ю., Рыженкова К.В., Манухов И.В., Завильгельский Г.Б. Индуцируемые специфические Lux-биосенсоры для детекции антибиотиков: конструирование и основные характеристики // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2014. Т. 50. № 1. С. 112–117.
47. Чепкова И.Ф., Ануфриев М.А., Пономорёва О.Н., Алферов В.А., Решетилов А.Н., Щеглова В.А., Петрова С.Н. Применение биосенсора на основе иммобилизованных микроорганизмов для оценки токсичности продукции бытового назначения и товаров для детей // *Токсикологический вестник.* 2010. № 1. С. 34–40.
48. Решетилов А.Н. Бактерии *Pseudomonas* как основа рецепторного элемента микробных сенсоров для детекции ароматических ксенобиотиков // *Доклады РАН.* 1966. Т. 348. № 4. С. 552–555.
49. Кувичкина Т.Н., Будина Д.Б., Олькова А.С., Решетилов А.Н., Ашихмина Т.Я. Определение ди-(2-этилгексил)фталата в поливинилхлоридных пластификатах масс-спектрометрическим и биосенсорным методами // *Теоретическая и прикладная экология.* 2015. № 4. С. 11–15.
50. Кувичкина Т.Н., Ермакова И.Т., Решетилов А.Н. Штамм *Alcaligenes xylosoxydans* subsp. *denitrificans* TD2 как основа биосенсора для определения тиодигликоля // *Микробиология.* 2012. Т. 81. № 6. С. 810–811.
51. Никашина А.А., Пурыгин П.П., Решетилов А.Н., Ильясов П.В. Использование биосенсоров на основе микроорганизмов-деструкторов для детекции нефтепродуктов // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология.* 2010. Т. 53. № 1. С. 125–127.
52. Решетилов А.Н., Ильясов П.В., Кувичкина Т.Н., Емельянова Е.В., Боронин А.М., Кнакмусс Г.И. Биосенсорная система для определения 2,4-динитрофенола и ионов нитрита и биосенсоры для этой системы // *Патент на изобретение* RUS 2207377. 2000.
53. Решетилов А.Н., Решетилова Т.А. История развития биосенсорных исследований в институте биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН – Биосенсоры и биотопливные элементы на основе микробных клеток // *История науки и техники.* 2017. № 1. С. 65–69.
54. Ефременко Е.Н., Холстов А.В., Воронова Е.Н., Коныхов И.В., Погосян И.С., Рубин А.Б. Биосенсор на основе клеток микроводорослей для определения тяжёлых металлов и гербицидов в водных системах // *Патент РФ* 2 426 779 С1. 2001.
55. Цыбульский Е.И., Сазыкина М.А. Новые биосенсоры для мониторинга токсичности среды на основе морских люминесцентных бактерий // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2010. Т. 46. № 5. С. 1–6.
56. Юдина Н.Ю., Арляпов В.А., Зайцева А.С., Решетилов А.Н. Влияние времени культивирования, состава исследуемых проб и условий анализа на окислительную активность дрожжей *Debaryomyces hansenii* // *Известия Тульского государственного университета. Серия Естественные науки.* 2012. № 3. С. 186–197.
57. Raud M., Tutt M., Jogi E., Kikas T. BOD biosensors for pulp and paper industry wastewater analysis // *Environmental Science and Pollution Research.* August 2012. V. 19. № 7. P. 3039–3045.
58. Афонина Е.Л., Пономорёва О.Н., Каманина О.А., Строителев В.В. БПК-биосенсор на основе инкапсулированных в органосиликатную матрицу дрожжей *Debaryomyces hansenii* // *Актуальная биотехнология.* 2015. № 3(14). С. 66–67.
59. Рыбочкин П.В., Афонина Е.Л., Каманина О.А., Пономорёва О.Н. Перспектива использования дрожжей *Debaryomyces hansenii* ВКМ Y-2482, инкапсулированных в золь-гель-матрицу силикагеля для определения БПК // *Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.* Киров, 2016. С. 112–115.
60. Арляпов В.А., Мельников П.В., Юдина Н.Ю., Зайцев Н.К., Алферов В.А., Решетилов А.Н. Амперометрический биосенсорный анализатор для экспресс-определения биохимического потребления кислорода // *Биомедицинская радиоэлектроника.* 2016. № 10. С. 69–78.
61. Кувичкина Т.Н., Воронова Е.А., Ильясов П.В., Китова А.Е., Емельянова Е.В., Решетилов А.Н. Биосенсор для определения загрязнённости воды органическими веществами // *Патент на полезную модель* RUS 73975. 2007.
62. ПНДФТ 14.1:2:3:4.11-04. ПНДФТ 16.1:2:3:3.8-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М., 2010.
63. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Биосенсоры и биочипы: сенсоры настоящего и будущего биотехнологий // *Современная наука: теория и практика.* 2015. № 1(8). С. 74–89.

References

- Rai A.N. Nitrogenase derepression, its regulation and metabolic changes associated with diazotrophy in the non-heterocystous cyanobacterium *Plectonema boryanum* PCC 73410 // *Journal of General Microbiology.* 1992. V. 138. No. 3. P. 481–491.
- Andreyuk E.I., Iutinskaya G.A., Valagurova E.V., Kozyrnickaya V.E., Ivanovna N.I., Ostapenko A.D. Hierarchical system of bioindication of soils polluted with heavy

metals // Pochvovedenie. 1997. No. 12. P. 1491–1496 (in Russian).

3. Valova E.E., Cybenov YU.B., Cybikova E.V. The influence of heavy metals on the enzymatic activity of soil // Uchenyy Zapiski ZabGGPU: Ekologiya. 2012. No. 1. P. 63–66 (in Russian).

4. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.YU., Olkova A.S., Fokina A.I., Ashihmina T.Ya. Application of tetrazole-topographic method in determining the dehydrogenase activity of cyanobacteria in polluted environments // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2008. No. 2. P. 23–28 (in Russian).

5. Fokina A.I., Ogorodnikova S.YU., Domracheva L.I., Lyalina E.I., Gornostaeva E.A., Ashihmina T.YA., Kondakova L.V. Cyanobacteria as test organisms and biosorbents // Eurasian soil journal. 2017. No. 1. P. 70–77 (in Russian).

6. Kuc V.V., Alenina K.A., Senko O.V., Efremenko E.N., Ismailov A.D. Bioluminescent monitoring of ecotoxicants (Ecological luminometry) // Voda: himiya i ehkologiya. 2011. No. 10. P. 47–53 (in Russian).

7. Ponamoreva O.N. Bacterial biosensors for ecological monitoring of petroleum hydrocarbons: mini-review // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki. 2010. No. 2. P. 273–280. (in Russian).

8. Gornostaeva E.A., Fokina A.I., Laptev D.S., Ogorodnikova S.Yu., Zhavorokov V.I. Influence of copper (II) ions on the biochemiluminescence of soil cyanobacteria // Adaptacionnye reakcii zhivyyh sistem na stressornyye vozdeystviya: Materialy vserossiyskoj molodyozhnoj konferencii. Kirov, 2012. P. 114–120 (in Russian).

9. Gornostaeva E.A., Fokina A.I., Laptev D.S., Ogorodnikova S.YU., Zhavoronkov V.I., Zvorygina V.M. Biochemiluminescence of soil cyanobacteria of the genus *Phormidium* in conditions of contamination of the medium with copper (II) and nickel (II) // Adaptacionnye reakcii zhivyyh sistem na stressornyye vozdeystviya: Materialy vserossiyskoj molodyozhnoj konferencii. Kirov, 2012. P. 120–123 (in Russian).

10. Zhmur N.S. Method for determination of toxicity of water extracts from halite waste and clay-salt slurries formed in the production of potassium fertilizers, to reduce the rate of growth (decrease in the number of cells) and to reduce the fluorescence level of chlorophyll *Phaeodactylum tricornutum* algae. Moskva: AKVAROS, 2016. 36 p. (in Russian).

11. Tombolini R., Unge A., Davey M.E., de Bruijn F.J., Jansson J.K. Flow cytometric and microscopic analysis of GFP-tagged *Pseudomonas fluorescens* bacteria // FEMS Microbiol. Ecol. 1997. V. 22. No. 1. P. 17–28.

12. Jha R.K., Kern T.L., Fox D.T., Strauss C.E.M. Engineering an acinetobacter regulon for biosensing and highthroughput enzyme screening in *E. coli* via flow cytometry // Nucleic Acids Res. 2014. V. 42. No. 12. P. 8150–8160.

13. Kudryashyova N.S., Kratasyuk V.A., Esimbekova E.N. Physicochemical basis of bioluminescent analysis, 2002. 154 p. (in Russian).

14. Vladimirov Yu.A., Archakov A.I. Peroxide oxidation of lipids in biological membranes. Moskva: Nauka, 1972. 252 p. (in Russian).

15. Fokina A.I., Ogorodnikova S.Y., Kondakova L.V., Gornostaeva E.A., Zykova Y.N., Domracheva L.I. Adaptation potential of naturally occurring cyanobacterial biofilms dominated by *Rhormidium* spp. // Contemporary Problems of Ecology. 2015. T. 8. No. 6. P. 695–702.

16. Baraboj V.A. Stress mechanisms and lipid peroxidation // Uspekhi Sovremennoj Biologii. 1991. T. 111. No. 6. P. 923–931 (in Russian).

17. Morelli E., Cioni P., Posarelli M., Gabellieri E. Chemical stability of CdSe quantum dots in seawater and their effects on a marine microalga // Aquat. Toxicol. 2012. P. 153–162.

18. Lushchak V.I. Budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a model to study oxidative modification of proteins in eukaryotes // Acta biochim. Polon. 2006. V. 53. No. 4. P. 679–684.

19. Dalle-Donne I., Aldini G., Carini M., Colombo R., Rossi R., Milzani A. Protein carbonylation, cellular dysfunction, and disease progression // J. Sell Mol. Med. 2006. V. 10. No. 2. P. 389–406.

20. Rubleva I.M., Irbe I.K., Mereshchanova A.Yu., Basova E.E. Photosynthesis as an indicator of resistance of algoculture to heavy metals // I Vseros. konf. fotobiologov. Pushchino, 1996. P. 45–46 (in Russian).

21. Kadyrova G.H., Rasulov B.A., Dzhabbarova O.I., Halilov I.M. Bioresorption of saline soils by cyanobacteria // Mikroorganizmy i biosfera: tezisy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Moskva, 2007. P. 49–50 (in Russian).

22. Hasanova L.A., Ivanov A.YU., Polyakova L.R., Yapparova E.H.I., Hasanova Z.M. Study of the stability of *Anacystis nidulans* Drouert cells (Cyanophyta) // Algologiya. 1999. T. 9. No. 2. P. 150 (in Russian).

23. Soizic M., Duony T.T., Boutry S., Coste M. Modulation de la toxicite des metaux vis-a-vis du development des biofilms de cours d'eau (basin versant de Decazeville, France) // Coste Michel. Cryptogamie. Algol. 2008. V. 29. No. 3. P. 201–216.

24. Smirnova G.V., Zakirova O.N., Oktyabrskij O.N. Role of antioxidant systems in the response of *Escherichia coli* bacteria to heat shock // Mikrobiologiya. 2001. V. 70. P. 595–601 (in Russian).

25. Oktyabrskij O.N., Smirnova G.V. Redox-regulation of cellular functions // Biohimiya. 2007. T. 72. V. 2. P. 158–174 (in Russian).

26. Oktyabrskij O.N., Muzyka N.G., Ushakov V.Yu., Smirnova G.V. The role of thiol redox systems in the response of *Escherichia coli* bacteria to peroxide stress // Mikrobiologiya. 2007. V. 76. No. 6. P. 759–765 (in Russian).

27. Smirnova G.V., Lepekhina E.V., Muzyka N.G., Oktyabrskij O.N. The role of thiol redox systems in the response of *Escherichia coli* bacteria to stress effects of

- temperatures and antibiotics // *Mikrobiologiya*. 2016. T. 85. No. 1. P. 26–35 (in Russian).
28. Arwidsson Z., Allard V. Remediation of metal-contaminated soil by organic metabolites from fungi II – metal redistribution // *Water Air and Soil Pollution*. 2010. No. 207. P. 5–18.
29. Reshetilov A.N., Plekhanova Yu.V., Tarasov S.E., Arlyapov V.A., Kolesov V.V., Gutorov M.A., Gotovcev P.M., Vasilov R.G. Influence of some carbon nanomaterials on the oxidation of ethyl alcohol by bacterial cells of *Gluconobacter oxydans* // *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*. 2017. V. 53. No. 1. P. 115–122 (in Russian).
30. Reshetilov A.N. Electrochemical biosensors based on microbial cells, enzymes, and antibodies. Dis. ... dokt. him. nauk. M., 1998. 450 p. (in Russian).
31. Tecon R., Van der Meer J.R. Bacterial biosensors for measuring availability of environmental pollutants // *Sensors*. 2008. V. 8. No. 7. P. 4062–4080.
32. Van der Meer J.R., Belkin S. Where microbiology meets microengineering: design and applications of reporter bacteria // *Nat. Rev. Microbiol.* 2010. V. 8. No. 7. P. 511–522.
33. Ponamoreva O.N. Bacterial biosensors for ecological monitoring of petroleum hydrocarbons: mini-review // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2010. V. 2. P. 273–280 (in Russian).
34. Rogers K.R. Chip-based biosensors for environmental monitoring. Review // Part six, chab. 75 (r. 1–7) in handbook of biosensors and biochips. V. 2. Wiley-Interscience, 2007. 1500 p.
35. Riedel K., Kunze G., Konig A., Microbial sensors on a respirator basis for wastewater monitoring // *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 2002. No. 75. P. 81–118.
36. Mehta J., Sanjeev K. Bhardwaj, Bhardwaj N., Paul A.K., Kumar P., Kim Ki-H., Deep A. Progress in the biosensing techniques for trace-level heavy metals // *Biotechnology Advances*. V. 34. No 1. January–February 2016. P. 47–60.
37. Kudryashov A.P. Biosensor devices: A course of lectures. Minsk: BGU, 2003. 110 p. (in Russian).
38. Ponamoreva O.N., Arlyapov V.A., Alferov V.A., Reshetilov A.N. Microbial biosensors for detection of biological oxygen demand (Review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*. January 2011. V. 47. P. 1–11.
39. Renella G., Giagnoni L. Light dazzles from the black box: whole – cell biosensors are ready to inform on fundamental soil biological processes // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2016. 3:8. P. 1–15.
40. Belkin S. Microbial whole-cell sensing systems of environmental pollutants // *Curr. Opin. Microbiol.* 2003. V. 6. No. 3. P. 206–212.
41. Van der Meer J.R., Tropel D., Jaspers M.C.M. Illuminating the detection chain of bacterial bioreporters // *Environ. Microbiol.* 2004. V. 6. No. 10. P. 1005–1020.
42. Wells M. Advances in optical detection strategies for reporter signal measurements // *Curr. Opin. Biotechnol.* 2006. V. 17. No. 1. P. 28–33.
43. Xu T., Close D., Smartt A., Ripp S., Sayler G. Detection of organic compounds with whole-cell bioluminescent bioassays // *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 2014. V. 144. P. 111–151.
44. Liu X., Germaine K., Ryan D., Dowling D.N. Whole-cell fluorescent biosensors for bioavailability and biodegradation of polychlorinated biphenyls // *Sensors*. 2010. V. 10. No. 2. P. 1377–1398.
45. Tropel D., Van der Meer J.R. Bacterial transcriptional regulators for degradation pathways of aromatic compounds // *Microbiol. Mol. Rev.* 2004. V. 68. No. 3. P. 474–500.
46. Kotova V.Yu., Ryzhenkova K.V., Manuhov I.V. Indicated specific Lux-biosensors for detection of antibiotics: design and main characteristics // *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*. 2014. V. 50. No. 1. P. 112–117 (in Russian).
47. Chepkova I.F., Anufriev M.A., Ponamoreva O.N., Alferov V.A., Reshetilov A.N., Shcheglova V.A., Petrova S.N. Application of a biosensor based on immobilized microorganisms to assess the toxicity of household products and products for children // *Toksikologicheskij vestnik*. 2010. No. 1. P. 34–40 (in Russian).
48. Reshetilov A.N. Bacteria *Pseudomonas* as the basis of the receptor element of microbial sensors for detection of aromatic xenobiotics // *Doklady RAN*. 1966. T. 348. No. 4. P. 552–555 (in Russian).
49. Kuvichkina T.N., Budina D.B., Olkova A.S., Reshetilov A.N., Ashihmina T.YA. Determination of di-(2-ethylhexyl) phthalate in polyvinyl chloride plasticizers by mass spectrometric and biosensor methods // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015. No. 4. P. 11–15 (in Russian).
50. Kuvichkina T.N., Ermakova I.T., Reshetilov A.N. The strain of *Alcaligenes xylosoxydans* subsp. *Denitrificans* TD2 as the basis of a biosensor for determination of thiodiglycol // *Mikrobiologiya*. 2012. V. 81. No. 6. P. 810–811 (in Russian).
51. Nikashina A.A., Purygin P.P., Reshetilov A.N., Ilyasov P.V. The use of biosensors based on microorganisms-destroyers for the detection of petroleum products // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya*. 2010. V. 53. No. 1. P. 125–127 (in Russian).
52. Reshetilov A.N., Ilyasov P.V., Kuvichkina T.N., Emelyanova E.V., Boronin A.M., Knakmuss G.I. Biosensor system for determination of 2,4-dinitrophenol and nitrite ions and biosensors for this system // *Patent na izobretenie RUS 2207377*. 2000. (in Russian).
53. Reshetilov A.N., Reshetilova T.A. The history of development of biosensory research in the Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms. GK Skryabin RAS – Biosensors and biofuel elements based on microbial cells // *Istoriya nauki i tekhniki*. 2017. No. 1. P. 65–69 (in Russian).
54. Efremenko E.N., Holstov A.V., Voronova E.N., Konyuhov I.V., Pogosyan I.S., Rubin A.B. Biosensor based

on microalgae cells for determination of heavy metals and herbicides in aqueous systems // Patent RF 2 426 779 S1. 2001. (in Russian).

55. Cybulskij E.I., Sazykina M.A. New biosensors for monitoring toxicity of the environment based on marine luminescent bacteria // *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*. 2010. T. 46. No. 5. P. 1–6 (in Russian).

56. Yudina N.Yu., Arlyapov V.A., Zaytseva A.S., Reshetilov A.N. Influence of the time of cultivation, the composition of the investigated samples and the conditions of analysis on the oxidative activity of the yeast *Debaryomyces hansenii* // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye nauki"*. 2012. No. 3. P. 186–197 (in Russian).

57. Raud M., Tutt M., Jogi E., Kikas T. BOD biosensors for pulp and paper industry wastewater analysis // *Environmental Science and Pollution Research*. August 2012. V. 19. No. 7. P. 3039–3045.

58. Afonina E.L., Ponamoreva O. N., Kamanina O.A., Stroitelev V.V. BOD-biosensor based on encapsulated organosilicate matrix of yeast *Debaryomyces hansenii* // *Aktualnaya Biotekhnologiya*. 2015. No. 3(14). P. 66–67 (in Russian).

59. Rybochkin P.V., Afonina E.L., Kamanina O.A., Ponamoreva O.N. Perspective of using yeast *Debaryomy-*

ces hansenii BKM Y-2482 encapsulated in sol-gel matrix of silica gel for determination of BOD // *Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti ih resheniya: Materialy XIV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Kirov, 2016. P. 112–115 (in Russian).

60. Arlyapov V.A., Melnikov P.V., Yudina N.Yu., Zaytsev N.K., Alferov V.A., Reshetilov A.N. Amperometric biosensor analyzer for rapid determination of biochemical oxygen consumption // *Biomedicinskaya Radioelektronika*. 2016. No. 10. P. 69–78 (in Russian).

61. Kuvichkina T.N., Voronova E.A., Piyasov P.V., Kitova A.E., Emelyanova E.V., Reshetilov A.N. Biosensor for determination of water pollution by organic substances // Patent for Utility Model RUS 73975. 2007. (in Russian).

62. PND FT 14.1:2:3:4.11-04. PND FT 16.1:2:3:3.8-04. Method for determining integrated toxicity of surface, including marine, groundwater, drinking, sewage water extracts of soil, waste, sewage sludge by changing the intensity of bacterial bioluminescence test system "Ecolum". Moskva, 2010. (in Russian).

63. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Biosensors and biochips: sensors of the present and future biotechnologies // *Sovremennaya nauka: teoriya i praktika*. 2015. No. 1(8). P. 74–89 (in Russian).

УДК 528.88

Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий

© 2017. Т. А. Адамович¹, к. г. н., доцент,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Обсуждается применение аэрокосмических методов в геоэкологическом мониторинге природно-техногенных территорий. Разработана структурно-функциональная схема аэрокосмической компоненты комплексного экологического мониторинга, которая включает блоки: исходной информации (аэрофотоснимки и космические снимки), радиометрической и геометрической коррекции космоснимков, дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков, а также блок наземных наблюдений. Разработан модуль системы геоэкологического мониторинга природно-техногенного комплекса для территории в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, содержащий методы аэрокосмического мониторинга с использованием многозональных космических снимков в сочетании с наземными наблюдениями. Применение данного модуля позволит делать более достоверную оценку состояния как природных, так и природно-техногенных систем и объединит усилия различных служб, ведомств, предприятий в контроле состояния объектов окружающей среды и в осуществлении мер по снижению антропогенной нагрузки на природные среды и объекты.

Предложенные современные методы и технологии геоэкологической оценки, прогноза и мониторинга природно-техногенного комплекса с включением аэрокосмических методов в районе промышленного объекта могут быть рекомендованы для разработки программ и создания систем геоэкологического мониторинга других территорий, в том числе, особо охраняемых природных территорий.

Ключевые слова: аэрокосмический метод, геоэкологический мониторинг, природно-техногенные территории, космические снимки.

Aerospace methods in the system of geo-ecological monitoring of natural and anthropogenic areas

Т. А. Adamovich¹, Т. Ya. Ashikhmina^{1,2},

¹Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of RAS,

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Application of aerospace methods in the system of geo-ecological monitoring of natural and anthropogenic areas is discussed. The structurally functional scheme of aerospace components of complex ecological monitoring is developed, which has the following blocks: initial information (aerial photographs and space pictures), radiometric and geometrical correction of satellite images, interpretation of aerial photographs and space pictures, and a block of land observations. The module of the system of geo-ecological monitoring of a natural and technogenic complex for the territory around the Kirovo-Chepetsk industrial complex, containing methods of aerospace monitoring with the use of polyzonal space pictures in combination with land observations, is developed. The use of this module will allow making a more reliable assessment of the state of both natural and nature-technogenic systems and will combine efforts of various services, departments, enterprises in control of the state of objects of the environment and in taking measures of decreasing the anthropogenous load on environment and its objects.

The offered modern methods and technologies of geoecological assessment, the forecast and monitoring of a natural and technogenic complex with inclusion of aerospace methods around an industrial facility can be recommended for development of programs and creation of systems of geo-ecological monitoring of other territories, including, especially of protected natural territories.

Keywords: aerospace method, geo-ecological monitoring, natural and anthropogenic areas, satellite images.

Аэрокосмический мониторинг как сложный технологический комплекс включает в себя наземные, воздушные и космические технологии и системы. Главная черта аэрокосмического мониторинга – глобальная оперативность [1]. Его методы позволяют быстро выявлять изменения окружающей среды, оценивать динамику и качество изменений и изучать взаимодействие природных и техногенных систем [2].

Изменения, вносимые человеком в окружающую среду (ОС), и экологические эффекты, связанные с его деятельностью, имеют как региональный, так и глобальный характер. Без применения аэрокосмических методов невозможно своевременно выявить, проследить динамику природного комплекса, дать полную картину происходящих изменений в ОС. В настоящее время эффективно решить такую сложную задачу можно лишь единственным способом: регулярной съёмкой земной поверхности с самолётов и спутников, то есть аэрокосмическими методами геоэкологического мониторинга.

Для проведения геоэкологического мониторинга трансформированных территорий в перечень показателей мониторинга необходимо включать специфические для данного производства загрязняющие вещества; оптимальную сеть мониторинга с учётом

топографических особенностей местности; современные методы анализа, информационного обеспечения, обобщения и оценки состояния природного комплекса. Важной составляющей создаваемой системы мониторинга является её организационное обеспечение.

В данной работе рассмотрены подходы, технологии и методы разработки программы и организации системы геоэкологического мониторинга с использованием аэрокосмических методов на примере природно-техногенного комплекса в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса (КЧПК).

Кирово-Чепецкий промышленный комплекс является одним из крупнейших промышленных объектов России. В его составе действуют предприятия по производству фторполимеров и минеральных удобрений. За годы деятельности промышленных объектов КЧПК природный комплекс в районе его эксплуатации под воздействием техногенного загрязнения сильно преобразован и представляет собой нарушенную природно-техногенную систему, сформировавшуюся вследствие сброса стоков предприятий, воздействия выбросов, складирования отходов производства, нарушения ландшафта при строительстве и эксплуатации объектов. На территории комплекса находятся шламонакопители и хвостохранилища, содер-

жащие большое количество токсичных, ртуть-содержащих, радиоактивных отходов. Хранилища отходов производства расположены в 1,5 км от селитебной зоны г. Кирово-Чепецка, в зоне санитарной охраны водозабора областного центра города Кирова с населением более 500 тыс. человек. За годы производственной деятельности всего комплекса предприятий КЧПК существенно возросли площади антропогенно нарушенных земель, водных и биологических экосистем [3].

Обоснование методов и технологий

Каждый химический и токсикологический показатель, включённый в программу геоэкологического мониторинга, определяется с применением классических физико-химических и биологических методов анализа проб воды, атмосферных осадков (снега), почвы, донных отложений и растительности. Особое место в представлении результатов анализа должно отводиться математическим, картографическим, дистанционным методам и ГИС-технологиям.

Методы геоэкологического картографирования направлены на создание карт геоэкологического профиля. Полученные карты отображают геоэкологические проблемы изучаемой территории. Важнейшим элементом содержания геоэкологических карт являются ареалы, локальные участки, территории загрязнения природно-техногенной среды.

При картографировании загрязнения гидросферы целесообразно применять следующие приёмы оценки: качественную и количественную оценку загрязнения отдельных участков водоёмов, количественную оценку вод и общую интегральную оценку загрязнения [4]. При картографировании загрязнения атмосферы следует использовать расчёт суммарных поступлений для отдельных территорий.

Кроме того, важным звеном комплексной геоэкологической оценки территории является составление эколого-биологических карт, с помощью которых можно более детально оценить состояние растительности, устойчивость растительности к загрязнению, потенциал её восстановления [5].

Состояние почв – это интегральный показатель экологической обстановки на изучаемой территории. Приоритетной является оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами, в том числе радионуклидами, а также специфическими загрязнителями (соединениями

азота, фосфора и др.) в районе исследования и построение по этим данным оценочных карт загрязнения данными поллютантами.

Методы аэрокосмического мониторинга дополняют данные наземных наблюдений. Космические снимки находят применение при обновлении топографических карт, карт оценки, благодаря высокому разрешению и информативности [6].

Данные аэрокосмической съёмки позволяют выявлять ареалы загрязнения вокруг районов, в пределах которых происходит трансформация окружающей среды под воздействием выбросов промышленных предприятий [7].

Сопоставление разновременных космических снимков позволяет осуществить аэрокосмический мониторинг состояния отдельных компонентов природной среды и выявить регионы с активизацией негативных геоэкологических процессов [8]. Важным направлением аэрокосмического мониторинга является мониторинг состояния лесной растительности и её динамики, который эффективно проводится путём сравнения разновременных снимков. При этом выявляются исчезнувшие и вновь появившиеся лесные массивы на фоне существующих лесов и безлесных территорий [9]. Важным является создание карт вегетационных индексов (NDVI и NDWI) [10, 11], которые отражают сезонную и многолетнюю динамику состояния растительности импактных и фоновых территорий исследуемого района. Ценные материалы могут быть получены при изучении динамики растительного покрова [12], выявления изменений береговой линии, участков развития процессов обмеления, засоления, заболачивания изучаемой территории.

Изучение по снимкам структур и рисунков изображений – уникальный метод анализа, прежде всего, физического антропогенного воздействия на природную среду. В меньшей степени снимки фиксируют характер загрязнения. Однако в совокупности дистанционные методы очень важны в решении проблем геоэкологии [13, 14].

Таким образом, для репрезентативного мониторинга исследуемой территории необходимо использование как традиционных методов мониторинга (мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям), так и современных методов геоэкологического мониторинга (геоэкологического картографирования, аэрокосмических методов), ГИС-технологий [15–17]. При оценке состояния природно-техногенных систем в районе хи-

мических и радиационно-опасных объектов КЧПК необходимо использовать данные дистанционного зондирования Земли.

С целью обеспечения геоэкологического мониторинга исследуемой территории в районе предприятий КЧПК, отображения получаемых результатов, нами в программу мониторинга включено построение оценочных аналитических, синтетических, прогнозных и топографических электронных карт состояния атмосферного воздуха, водных объектов, донных отложений, почв, растительности по вегетационным индексам (NDVI и NDWI).

Результаты

Обоснование перечня показателей геоэкологического мониторинга. В перечень контролируемых показателей геоэкологического мониторинга состояния природно-техногенного комплекса в районе объектов КЧПК включены параметры, отражающие характер воздействия предприятия на окружающую среду, состояние компонентов природного комплекса и динамику происходящих изменений. К таким показателям относится содержание общепромышленных и специфических загрязняющих веществ для каждого производства, содержащихся в выбросах и сбросах по установленным нормам предельно допустимых выбросов и сбросов, которые утверждены региональным природоохранным органом [18].

В перечень показателей системы геоэкологического мониторинга должны быть включены, в первую очередь, наиболее опасные загрязняющие вещества, которые образуются в результате работы АО «Объединенной химической компании «УРАЛХИМ» и завода «ГалоПолимер» – фтор-, хлорорганические соединения, тяжёлые металлы (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+}), нитраты, нитриты, аммонийный азот, фториды, фосфаты и др., а также радионуклиды, появившиеся в окружающей среде за время функционирования радиохимического производства на КЧХК в 50–90-е годы XX века. При этом следует учитывать количественные и токсикологические характеристики этих соединений, а также поведение их в природных средах: растворение, разложение, трансформацию, возможность вступать во взаимодействие с другими компонентами и многое другое.

Геоэкологический мониторинг таких сложных территорий, к каким относится исследуемая территория в районе предприятий КЧПК, характеризующаяся нарушенным

ландшафтом, значительной площадью подтопления в паводковый период, заболоченностью территории, мощным антропогенным воздействием действующих предприятий и объектов хранения отходов, в том числе радиоактивных отходов, крайне нуждается во включении в программу дистанционных методов. Это позволяет провести комплексную оценку всей территории исследования, включая труднодоступные участки, выявлять площади урбанизированных территорий, изменения береговой линии р. Вятка, участков развития процессов обмеления, подтопления, засоления, заболачивания, динамики растительного покрова исследуемой территории.

В программу геоэкологического мониторинга природного комплекса в районе предприятий КЧПК нами рекомендуется включить отслеживание динамики природно-техногенного комплекса по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) следующие показатели:

- изменение структуры природного комплекса 5 классов объектов: сосновые леса, лиственные леса, луга, урбанизированные территории, водные объекты;
- изменение процентного соотношения занимаемой данными классами территории;
- изменение видового состава растительного покрова лугов, лесов и пашен;
- площади зарастания вторичными лесами;
- изучение сезонной и многолетней динамики состояния растительного покрова с использованием вегетационного индекса NDVI [19] и индекса влагосодержания NDWI [20] – как интегральных показателей;
- изменение ландшафта;
- оценка интенсивности русловых процессов;
- изменение площадей, занимаемых водными объектами;
- оценка сезонной динамики экологического состояния водных объектов;
- спектральные характеристики загрязнения водоёмов по альгофлоре.

Структурно-функциональная схема аэрокосмического компонента системы геоэкологического мониторинга природно-техногенных систем в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса. До настоящего времени в оценке состояния окружающей природной среды в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса методы аэрокосмического мониторинга практически не применялись. В связи с этим,

актуальным является разработка структурно-функциональной схемы аэрокосмического мониторинга, как одного из компонентов комплексной системы геоэкологического мониторинга данной территории.

Предложенная нами структурно-функциональная схема аэрокосмической компоненты комплексного экологического мониторинга включает следующие блоки: исходная информация (аэрофотоснимки и космические снимки); радиометрическая и геометрическая коррекция космоснимков, привязка снимков, их дешифрирование (визуальное и автоматизированное); дешифрирование аэрофотоснимков, их цифровое трансформирование; сканирование фотоматериалов и их последующая обработка; наземные наблюдения; получение информации о природном комплексе (рис. 1).

Блок исходной информации включает информацию о космических (Landsat TM, ETM+, SPOT, IKONOS, Quick Bird, ASTER, EO-1 (Earth Observing-1) и т. д.) и других летательных аппаратах; характеристики бортовой съёмочной аппаратуры, которые удовлетворяют задачам лесного хозяйства, землепользования; а также содержит информацию о выполненных наземных наблюдениях.

Блок радиометрической и геометрической коррекции изображений включает рас-

чёт статистических показателей исходных данных; коррекцию и восстановление снимков; улучшение визуального восприятия снимков; геометрическую коррекцию, целью которой является устранение искажения на снимках.

Привязка изображений (или геометрическое трансформирование) заключается в преобразовании снимка к одной из стандартных картографических проекций, при этом проводят пространственную интерполяцию и интерполяцию значений яркости пикселей. Пространственная интерполяция выполняется по наземным опорным точкам, для которых известны как географические координаты (широта, долгота), так и координаты на снимке (номер строки и номер пиксела) [21].

Блок дешифрирования (рис. 1) включает автоматизированное и визуальное дешифрирование. Блок автоматизированного дешифрирования включает следующие операции: первичную обработку информации, определение эталонных участков на снимке, выделение классов объектов, оценку точности результатов дешифрирования. Визуальное дешифрирование заключается в анализе изображения в печатном виде и в виде изображения на экране монитора. При этом дешифровщик без труда определяет форму, относительные размеры

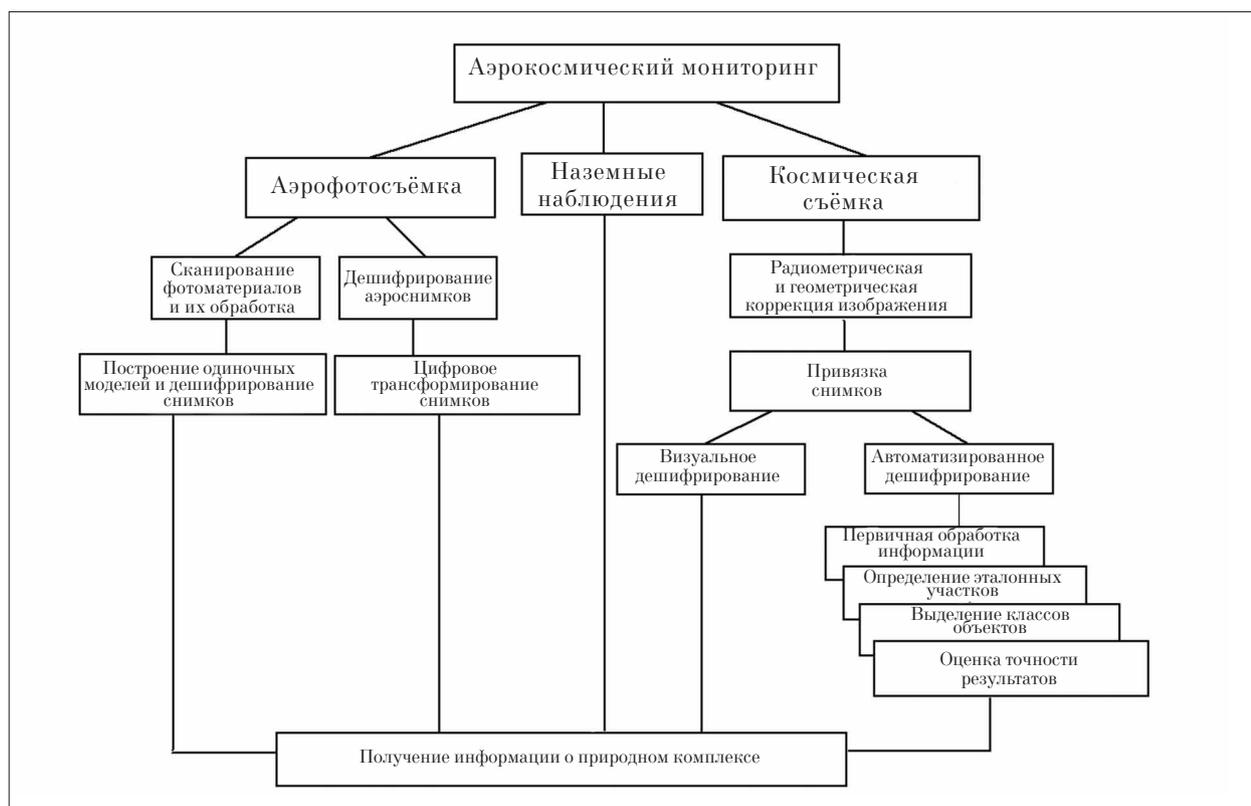


Рис. 1. Структурно-функциональная схема аэрокосмического компонента системы геоэкологического мониторинга территории в районе предприятий КЧПК

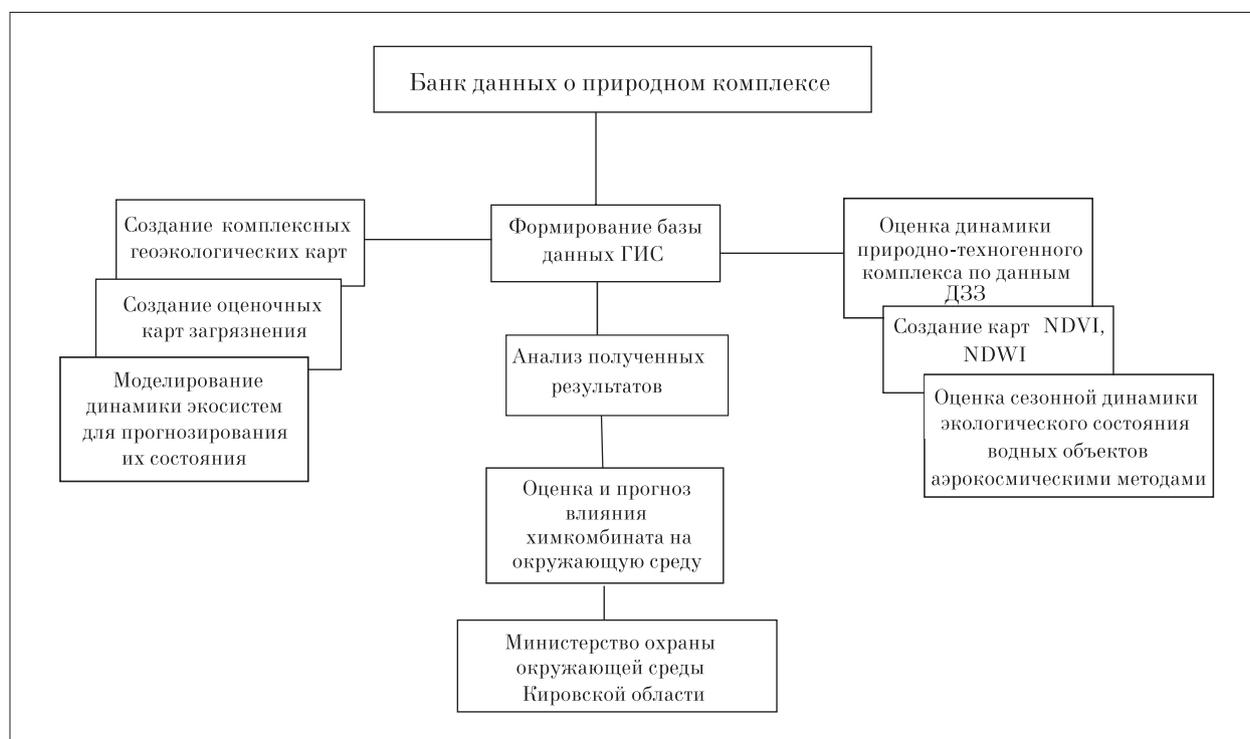


Рис. 2. Структура формирования базы данных ГИС геоэкологического мониторинга

объектов и особенности их распределения, используя всю совокупность дешифровочных признаков [22].

Первичная обработка содержит операции по исправлению искажений, вызванных нестабильностью работы космического аппарата и датчика, географическую привязку изображений с наложением на него сетки координат, изменение масштаба изображения, вырезку фрагмента изображения, применение методов спектрального улучшения, повышения контраста, фильтрацию и представление изображения в необходимой географической проекции (геокодирование).

Далее осуществляется определение эталонных участков для классификации объектов, в ходе которого различные объекты на снимке относят к определенным кластерам. На этапе распознавания устанавливается тождество между отдельными объектами и соответствующими классами. Для выполнения этого шага необходимо использовать дополнительные знания об изучаемой территории, полученные в полевых исследованиях, которые являются неотъемлемой составной частью любой задачи дешифрирования.

Для оценки точности результатов дешифрирования могут быть использованы разные способы: визуальный экспертный анализ с привлечением всех известных данных об объектах на исследуемой территории, проверка по

данным в координатно-привязанных точках наземных наблюдений, не использованных при наборе обучающих выборок, оценки статистических характеристик выборок и итоговых классов. Наиболее применяемой формой представления оценки точности классификации является матрица ошибок, которая характеризует не только погрешность классификации для каждого класса, но и ошибки, связанные с неверной классификацией [23].

При объединении всех блоков структурно-функциональной схемы можно получить более полную информацию о природном комплексе. Далее из схемы формируется банк данных (рис. 2). После этого данные систематизируются в базу данных ГИС, обеспечивающую оперативный и автоматизированный доступ к информации. Полученная информация может быть использована в целях геоэкологического картографирования (создание комплексных геоэкологических карт, оценочных карт загрязнения, моделирование динамики экосистем для прогнозирования их состояния) и оценки состояния природно-техногенных систем с применением данных ДЗЗ (создание карт вегетационных индексов, оценка сезонной динамики водных объектов, состояния растительности, оценка динамики природно-техногенного комплекса).

Структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга природ-

но-техногенных систем в районе влияния промышленных предприятий КЧПК представлена на рисунке 3. Она включает в себя три блока: мониторинг природных сред и объектов, мониторинг природно-техногенных систем и аэрокосмический мониторинг.

Аэрокосмический мониторинг в данной работе рассматривается нами, как компонент системы геоэкологического мониторинга, вследствие того, что его составляющие – космические снимки с полученными в ходе наземных наблюдений результатами позволяют сделать более достоверную оценку как природных, так и природно-техногенных систем.

Мониторинг природных сред и объектов обеспечивается в регионе по следующим направлениям:

- мониторинг атмосферного воздуха – Кировский центр гидрометеорологии и охраны окружающей среды;
- мониторинг недр (ландшафтный мониторинг) – Вятский научно-технический информационный центр мониторинга и природопользования – ВятНТИЦМП (при Министерстве окружающей среды Кировской области), лаборатория ЦЛАТИ (при

Управлении «Росприроднадзор» по Кировской области);

- мониторинг подземных вод (ВятНТИЦМП);
- мониторинг поверхностных водных объектов – Кировский центр гидрометеорологии и охраны окружающей среды (два гидропоста на р. Вятка); Министерство окружающей среды Кировской области (в районе Кировского водозабора на р. Вятка);
- мониторинг водных объектов в пойме р. Вятка, вблизи промышленной зоны предприятий КЧПК (р. Елховка, р. Просница, оз. Берёзовое, Просное, Бобровые, карьер ЗМУ) обеспечивается в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;
- мониторинг почв, растительного и животного мира проводится в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

Блок мониторинга природно-техногенных систем включает:

- мониторинг загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами, ко-

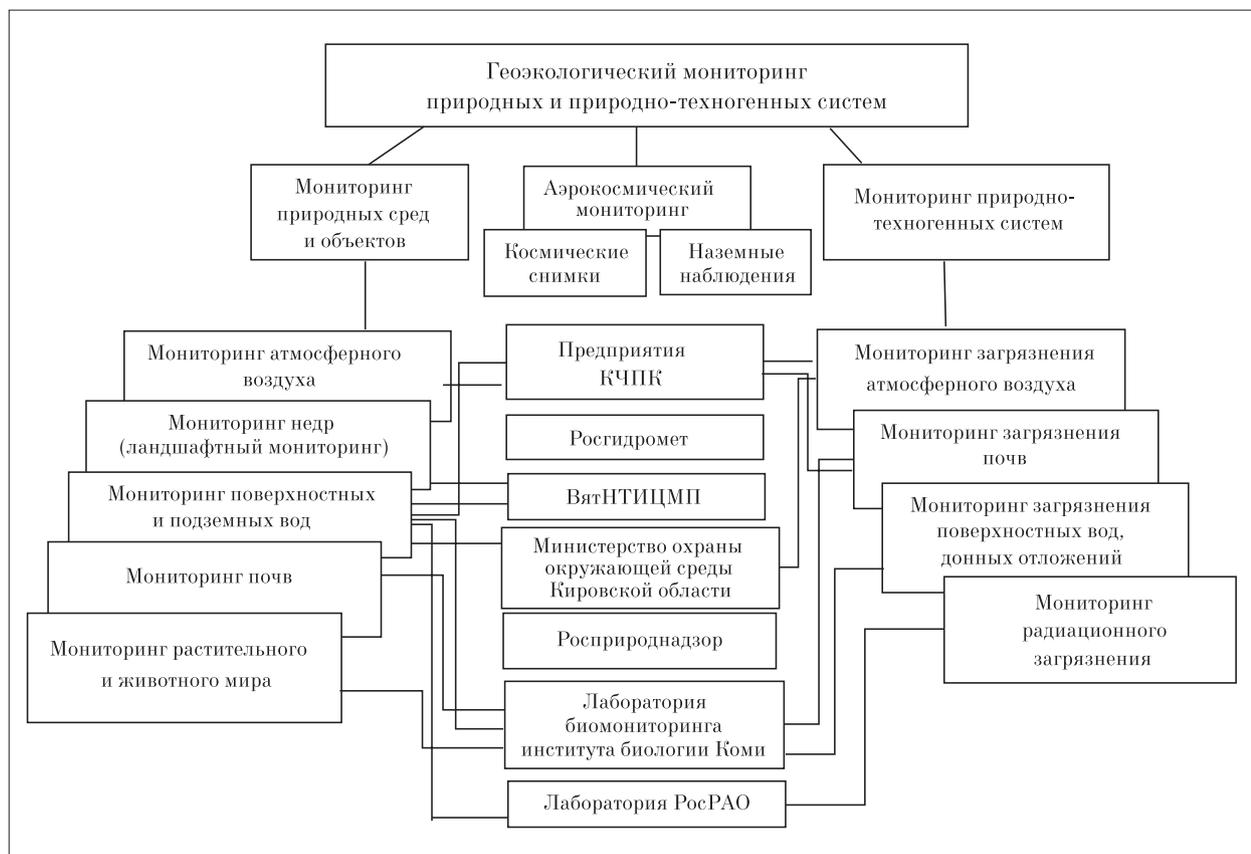


Рис. 3. Структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга природного комплекса в районе предприятий Кирово-Чепецкого промышленного комплекса

торый обеспечивается службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ»; Природо-охранным центром Министерства окружающей среды Кировской области;

– мониторинг загрязнения поверхностных вод, донных отложений водных объектов в пойме р. Вятка, вблизи промышленной зоны предприятий КЧПК (р. Елховка, р. Просница, оз. Берёзовое, Просное, Бобровые, карьер ЗМУ) обеспечивается службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ» и в плане научных исследований лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;

– мониторинг загрязнения подземных вод проводится службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ» и лабораторией ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО»;

– мониторинг загрязнения почв проводится службой эколого-аналитического контроля АО «ОХК «УРАЛХИМ», в плане научных исследований – лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ;

– мониторинг радиационного загрязнения объектов окружающей природной среды осуществляется лабораторией ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО».

– исследования в области аэрокосмического мониторинга территории в районе предприятий КЧПК проводятся в течение более 5 лет авторами данного исследования в составе лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

Предложенная схема системы геоэкологического мониторинга включает мониторинг природных и природно-техногенных систем на основе сочетания наземных, воздушных и космических наблюдений. Отображение на космических снимках нарушений среды обитания человека в результате антропогенного воздействия на природу делает их ценным материалом для анализа современной экологической ситуации, составления карт экологической оценки территории, разработки экологических прогнозов.

Таким образом, предложенная нами структурно-функциональная схема системы геоэкологического мониторинга включает в себя методы аэрокосмического мониторин-

га с использованием многозональных космических снимков в сочетании с наземными наблюдениями. Это позволит делать более достоверную оценку состояния как природных, так и природно-техногенных систем и объединит усилия различных служб, ведомств, предприятий в контроле состояния объектов ОС и в осуществлении мер по снижению антропогенной нагрузки на природные среды и объекты.

Заключение

В настоящее время аэрокосмические методы имеют определяющее значение для разностороннего изучения и картографирования земной поверхности. Характерная особенность аэрокосмических методов состоит в том, что они являются дистанционными, то есть не требующими прямого соприкосновения с объектом исследования, и позволяющими свести непосредственные исследования к минимуму. Методы аэрокосмической съёмки позволяют большую часть работы перенести в камеральные условия, увеличить скорость производства работ и, вместе с тем, увеличить достоверность и полноту результатов исследовательских работ.

Удобство работы со снимками заключается также в том, что к изображению можно обращаться неоднократно, изучать неопределённо долгое время без больших затрат времени и средств, что затруднительно или невозможно при других методах, например, традиционном полевом экспедиционном методе исследований.

В связи с этим применение аэрокосмических методов в геоэкологическом мониторинге природных и природно-техногенных территорий является актуальным научным исследованием. Предлагаемая в данной работе система геоэкологического мониторинга природного комплекса, в районе предприятий КЧПК, с включением в неё аэрокосмических методов исследования позволяет выявлять изменения, происходящие в природном комплексе, делать прогнозы и обеспечивать опережающий характер в принятии управленческих решений. Предложенные в работе современные методы и технологии геоэкологической оценки, прогноза и мониторинга природно-техногенного комплекса в районе Кирово-Чепецкого промышленного комплекса могут быть использованы для разработки программ и создания систем комплексного экологического мониторинга других территорий, в том числе, особо охраняемых природных территорий.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-2120.2017.5).

Литература

1. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Околоземное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2013. № 4. С. 4–9.
2. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы Науки и Образования. 2015. Т. 3 (15). С. 49–55.
3. Адамович Т.А. Геоэкологическая оценка и оптимизация системы мониторинга территории в районе Кирово-Чепецкого химического комбината: Дисс. ... канд. географ. наук. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2012. 175 с.
4. Лопаткин К.И., Сладкопцев С.А. Проблемы геоэкологии. М.: МДВ, 2008. 259 с.
5. Сладкопцев С.А., Дроздов С.Л. Актуальные вопросы и проблемы геоэкологии. Научно-методическое издание. М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. 260 с.
6. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 2001. 228 с.
7. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2004. 336 с.
8. Муртазов А.К. Околоземное космическое пространство и проблемы охраны окружающей среды. Рязань: РГПУ. 2001. 146 с.
9. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 304 с.
10. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 195–213.
11. Куссуль Н., Ильин Н., Скакун С., Лавренюк А. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным. International Book Series «Information Science and Computing» // The paper is selected from XIVth International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» KDS, Varna. 2008. P. 103–109.
12. Никитина Ю.В. Разработка и исследование технологии мониторинга динамики лесных экосистем по материалам дистанционного зондирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2007. 26 с.
13. Савин И.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геоматика. 2011. № 2. С. 69–76.

14. Королёв В.А. Мониторинг геологических, лито-технических и эколого-геологических систем / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 416 с.
15. Афанасьев Ю.А., Фомин С.А., Меньшиков В.В. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Учеб. пособие в двух частях. Ч. 2. М.: МНЭПУ, 2001. 208 с.
16. Перфильев С.Е. Космический аграрнопромышленный мониторинг – основа современного сельского хозяйства // Решетневские чтения: Матер. X Междунар. науч. конф. Красноярск: СибГАУ, 2006. С. 119–120.
17. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. М.: Академический Проект, 2005. 416 с.
18. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
19. Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y., Qiu G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high density cypress forest // Sensors. 2007. V. 7. P. 2636–2651.
20. Gao B.C. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // II Remote Sensing of Environment. 1996. V. 58. P. 257–266.
21. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. Москва: КДУ, 2010. 424 с.
22. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
23. Богомолов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. М.: Недра, 1976. 145 с.

References

1. Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near-earth space as an object of global monitoring // Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina. 2013. No. 4. P. 4–9 (in Russian).
2. Tsvetkov V.Ya. Analysis of application of space monitoring // Perspektivy Nauki i Obrazovaniya. 2015. V. 3 (15). P. 49–55 (in Russian).
3. Adamovich T.A. Geoeological assessment and optimization of the system of monitoring of the territory around the Kirovo-Chepetsk Chemical Plant: Diss. ... kand. geographic. nauk. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy Federalnyy Universitet. 2012. 175 p. (in Russian).
4. Lopatkin K.I., Sladkoptev S A. Geoeology problems. Moskva: MDV, 2008. 259 p. (in Russian).
5. Sladkoptev S.A., Drozdov S.L. Topical issues and problems of Geoeology. Scientific and methodical edition. Moskva: Izd-vo MIIGAiK, 2008. 260 p. (in Russian).
6. Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Geoinformation analysis of data of remote sensing. Moskva: Kartgeotsentr Geodezizdat, 2001. 228 p. (in Russian).

7. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I., Tutubalina O.V. Space methods of geographical researches: The textbook for students of higher educational institutions. Moskva: Akademiya, 2004. 336 p. (in Russian).
8. Murtazov A.K. Near-earth space and problems of environmental protection. Ryazan: RGPU, 2001. 146 p. (in Russian).
9. Murtazov A.K. Ecology of near-earth space. M.: FIZMATLIT, 2004. 304 p. (in Russian).
10. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 195–213.
11. Kussul N., Ilyin N., Skakun S., Lavrenyuk A. Assessment of the condition of vegetation and forecasting productivity of winter crops of the Ukraine according to satellite data. International Book Series “Information Science and Computing” // Knowledge-Dialogue-Solution: The paper is selected from XIVth International Conference KDS. Varna, 2008. P. 103–109 (in Russian).
12. Nikitina Yu. V. Development and research of technology of monitoring of dynamics of forest ecosystems on materials of remote sensing: Avtoref. ... cand. tech. nauk. Novosibirsk. 2007. 26 p. (in Russian).
13. Savin I.Yu. Expeditious satellite monitoring of the condition of sowings of agricultural crops in Russia // Geomatika. 2011. No. 2. P. 69–76 (in Russian).
14. Korolev V.A. Monitoring of geological, litho-technical and eco-geological systems. Studies / Ed. V.T. Trofimov. Moskva: KDU, 2007. 416 p. (in Russian).
15. Afanasyev Yu.A., Fomin S.A., Menshikov V.V. Monitoring and control methods of the environment. Studies. Ucheb. posobie v 2-kh chastyakh. Moskva: MNEPU, 2001. 208 p. (in Russian).
16. Perfilyev S.E. Space agrarian and industrial monitoring – fundamentals of modern agriculture // Reshetnevskiy chteniya: Mater. kh mezhdunar. nauch. konf. Krasnoyarsk: SibGAU. 2006. P. 119–120 (in Russian).
17. Ashikhmina T.Ya. Environmental monitoring. Moskva: Akademicheskij Proyekt, 2005. 416 p. (in Russian).
18. Ashikhmina T.Ya. Complex environmental monitoring of objects of storage and destruction of chemical weapons. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).
19. Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y., Qiu G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in highdensity cypress forest // Sensors. 2007. V. 7. P. 2636–2651.
20. Gao B.C. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // II Remote Sensing of Environment. 1996. V. 58. P. 257–266.
21. Lurye I.K. Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of space pictures: textbook. Moskva: KDU, 2010. 424 p. (in Russian).
22. Labutina I.A. Deshifirovaniye of space pictures: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. Moskva: Aspekt Press, 2004. 184 p. (in Russian).
23. Bogomolov L.A. Deshifirovaniye's mantises of aerial photographs. Moskva: Nedra, 1976. 145 p. (in Russian).

Возможные пути интенсификации массового культивирования цианобактерий

© 2017. Н. А. Кудряшов¹, аспирант, Л. И. Домрачева^{1,2}, д. б. н., профессор, Е. О. Великородчанина³, студент,

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36, e-mail: dli-alga@mail.ru

На примере культивирования двух видов цианобактерий (ЦБ) *Nostoc paludosum* и *Fischerella muscicola* показано, что манипулируя с уровнем освещённости и составом питательной среды можно добиться существенного повышения выхода цианобактериальной биомассы. Переход к культивированию от люминостата с освещённостью 1000 лк к культивированию в биореакторе с освещённостью 4000 лк повышает скорость размножения ЦБ в 1,8 раза для *N. paludosum* и в 3,5 раза для *F. muscicola*. При этом в биореакторе авторской конструкции освещение осуществляется разными спектрами с помощью красных, синих, зелёных и белых светодиодных лент. Режим культивирования данных видов ЦБ в модифицированной питательной среде Громова № 6 без азота также позволяет значительно повысить выход цианобактериальной биомассы. Среди приёмов, основанных на увеличении содержания макро- и микроэлементов, концентрации агар-агара и насыщения среды культивирования углекислым газом в виде сухого льда, наиболее эффективным оказался приём дополнительного снабжения фотосинтезирующих ЦБ углеродом. Это привело к возрастанию их темпов размножения почти в 4 раза при концентрации добавляемого углекислого газа 25 г/л. Из двух испытуемых культур ЦБ наиболее отзывчивой на уровень освещённости оказалась *F. muscicola*, а на изменение состава питательной среды ЦБ реагировали по-разному.

Ключевые слова: цианобактерии, освещённость, макроэлементы, микроэлементы, агар-агар, углекислый газ.

Possible ways to intensify mass cultivation of cyanobacteria

N. A. Kudryashov¹, L. I. Domracheva^{1,2}, E. O. Velikoredchanina³,

¹ Vyatka State Agricultural Academy, 133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,

² Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS, 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

³ Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000, e-mail: dli-alga@mail.ru

The example of cultivation of two species of cyanobacteria (CB) *Nostoc paludosum* and *Fischerella muscicola* showed that manipulating the level of illumination and the composition of the nutrient medium can cause a significant increase in the yield of cyanobacterial biomass. Transition to cultivation from a luminostate with illumination of 1000 lux to cultivation in a bioreactor with illumination of 4000 lux raises reproduction rate of the CB by 1.8 times for *N. paludosum* and by 3.5 times for *F. muscicola*. At the same time, in the bioreactor of the author's design, lighting is performed by different spectra with the help of red, blue, green and white LED strips. The regime of cultivation of these CB species in the modified Gromov No. 6 nutrient medium without nitrogen also allows a significant increase in the yield of cyanobacterial biomass. Among the methods based on the increase in the content of macro- and microelements, the concentration of agar-agar and the saturation of the medium of carbon dioxide in the form of dry ice, the most effective was reception of additional supply of photosynthetic CB with carbon. Adding 25 g of carbon dioxide in the form of dry ice to 1 L of nutrient medium leads to an increase in their reproduction rates by almost 4 times. Of the two CB tested cultures, *F. muscicola* was the most responsive to the level of illumination, and the CB reacted differently to changes in the composition of the nutrient medium.

Keywords: cyanobacteria, illumination, macroelements, microelements, agar-agar, carbon dioxide.

Бурное развитие биотехнологии постоянно требует включения новых эффективных микробов-продуцентов в производственный цикл для получения как микробной биомассы, так и широкого спектра биологически активных веществ. Большой интерес в этом плане представляют цианобактерии (ЦБ), особенно их гетероцистные формы, обладающие способностью к азотфиксации. Привлекательность этой группы организмов в качестве биотехнологического объекта обусловлена такими особенностями их развития, как биохимическое и физиологическое разнообразие, широкий набор экзометаболических веществ, включающий антибиотики, ростовые вещества, ферменты, витамины и т. д. [1–4]. Использование ЦБ в биотехнологии связывают также со способностью отдельных штаммов аккумулировать некоторые соединения, участвовать в деградации нефти и нефтепродуктов. ЦБ также рассматриваются как перспективный источник альтернативной энергии [5]. Независимость в развитии от органических форм углерода и связанного азота позволяет использовать для их культивирования максимально простые минеральные среды. Опыт массового культивирования ЦБ, достаточно давно существующий в странах Юго-Восточной Азии, постепенно внедряется и в России [6].

Серия исследований, проводимых на кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской ГСХА в течение многих лет, показала, что различные альгологически чистые культуры ЦБ, выделенные из почв Кировской области, обладают антагонистическими, ростстимулирующими, биотестовыми, биосорбционными и биоремедиационными способностями [7–11].

В перспективе возможно создание биопрепарата многофункционального действия на основе данной группы фотосинтезирующих микроорганизмов. Однако, чтобы обеспечить получение необходимого количества ЦБ, требуется совершенствование методов их массового культивирования, особенно в осенне-зимний период, когда популяции ЦБ переходят в состояние глубокого покоя и вегетируют очень слабо.

Цель данной работы – поиск путей интенсификации массового культивирования ЦБ путём регуляции режима освещения и изменения состава питательной среды.

Материалы и методы

Для проведения опытов были выбраны 2 штамма нитчатых гетероцистных форм ЦБ

из коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры: *Nostoc paludosum* № 18 и *Fischerella muscicola* № 300.

В первой серии опытов проводили сравнение интенсивности роста данных ЦБ при различных режимах освещения. Для этого их культивировали в жидкой питательной среде Громова № 6 без азота при освещении 1000 люкс (в люминостате) и 4000 люкс (в биореакторе) в течение 5 недель. Биореактор авторской конструкции представляет собой зеркальный параллелепипед размерами 600 x 400 x 500 мм (отражающей стороной внутрь) со светодиодными лентами (красной, синей, зеленой и белой) [12]. Продолжительность освещения – 12 часов. Первоначальный объём цианобактериального инокулята для каждой культуры был одинаковым. В процессе роста ЦБ, как обычно, формируют плёночные разрастания. Поэтому при снятии опыта для количественного учёта популяций ЦБ биоплёнки в течение двух минут разбивали на гомогенизаторе. В дальнейшем определение титра культур проводили в камере Горяева в 6-кратной повторности.

Во второй серии опытов проводили манипуляции с составом питательной среды. В контрольном варианте для выращивания ЦБ использовалась жидкая питательная среда Громова № 6 без азота следующего состава: $\text{CaCl}_2 - 0,15 \text{ г}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 0,2 \text{ г}$, $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 0,2 \text{ г}$, $\text{NaHCO}_3 - 0,2 \text{ г}$. Раствор микроэлементов – 1 мл. Дистиллированная вода – 1 л. Модификацию питательной среды проводили в нескольких направлениях: путём увеличения концентрации макро- и микроэлементов, добавлением различного количества агар-агара в стандартную среду Громова, а также насыщением питательной среды углекислым газом.

Во всех вариантах первоначальный объём цианобактериального инокулята, вносимого в культуральную смесь, был 1 мл с титром клеток $3,75 \cdot 10^8$. Продолжительность культивирования составляла 5 и 8 недель.

При снятии опыта для количественного учёта клеток ЦБ биоплёнки, как и в первой серии опытов, в течение двух минут разбивали на гомогенизаторе. Определение титра гомогенизированных культур проводили в камере Горяева в 6-кратной повторности.

Результаты и обсуждение

Влияние интенсивности освещения на рост цианобактерий. Количественный учёт численности клеток ЦБ при культивиро-

вании в люминостате и биореакторе показал, что увеличение интенсивности освещения существенно стимулирует скорость роста как *N. paludosum*, так и *F. muscicola* (табл. 1). Численность клеток ностока увеличилась в 1,6 раза, фишереллы – в 3,5 раза. Морфологический анализ состояния популяций показал, что все клетки имеют практически одинаковый размер и интенсивность окраски, что свидетельствует о нахождении культур в экспоненциальной фазе.

Таким образом, увеличение интенсивности освещения и разнообразие спектров освещения, которые осуществляются в биореакторе, приводит к интенсификации роста биомассы ЦБ, при этом наиболее ярко выраженный эффект проявляется у *F. muscicola*. Выявленные особенности вегетации ЦБ позволяют получать достаточное количество цианобактериального инокулята для проведения различных опытов, а в перспективе – основу для создания биопрепаратов, применяемых в поздне-осенний и зимний периоды, которые, как правило, являются «глухой» порой для размножения ЦБ.

Влияние концентрации макроэлементов на рост цианобактерий. В состав питатель-

ной среды Громова № 6 без азота входят такие макроэлементы, как кальций, калий, магний и фосфор. Отсутствие азота в среде обусловлено тем, что оба вида исследуемых ЦБ являются азотфиксаторами, используя для своего роста и развития молекулярный азот, превращение которого в аминокислоты и белки происходит в особых клетках – гетероцистах. В ходе проводимого опыта состав питательной среды меняли таким образом, что концентрация данных макроэлементов была увеличена в 1,5; 2; 4; 5 и 10 раз. При снятии опыта через 5 недель было установлено, что в контрольном варианте темпы роста *N. paludosum* были выше, чем у *F. muscicola* (рис. 1). Эта же тенденция опережающего роста ностока сохранялась и во всех вариантах.

При 8-недельном культивировании возрастание численности клеток *N. paludosum* в 1,8–2,0 раза отмечено в варианте с повышением концентрации макроэлементов в 1,5–2,0 раза. Для *F. muscicola* подобное повышение концентрации фактически не сказывается на интенсивности размножения. Для обоих видов ЦБ дальнейшее насыщение питательной среды макроэлементами (4–5–10-кратные дозы) не эффективно и приводит к снижению численности клеток (рис. 2).

Таблица 1

Влияние интенсивности освещения на скорость роста цианобактерий

Вид цианобактерий	Численность клеток, • 10 ⁸ /мл	
	1000 люкс (люминостат)	4000 люкс (биореактор)
<i>Nostoc paludosum</i>	2,7±0,5	4,8±1,1
<i>Fischerella muscicola</i>	4,9±0,9	17,2±2,8

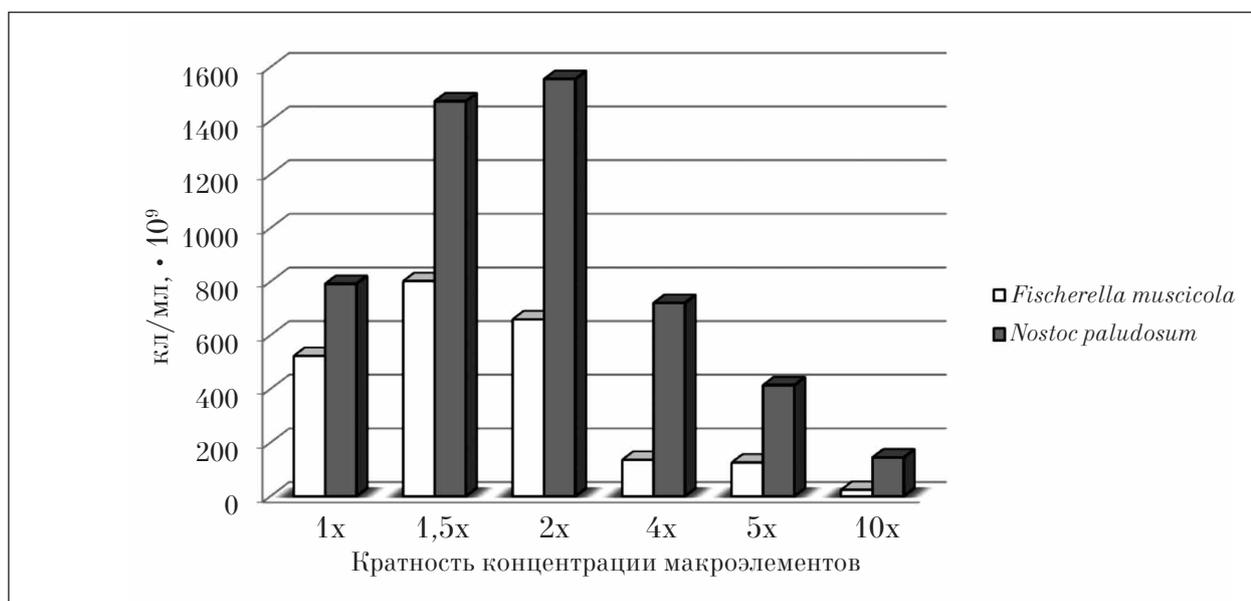


Рис. 1. Влияние концентрации макроэлементов питательной среды на интенсивность размножения цианобактерий при 5-недельном культивировании

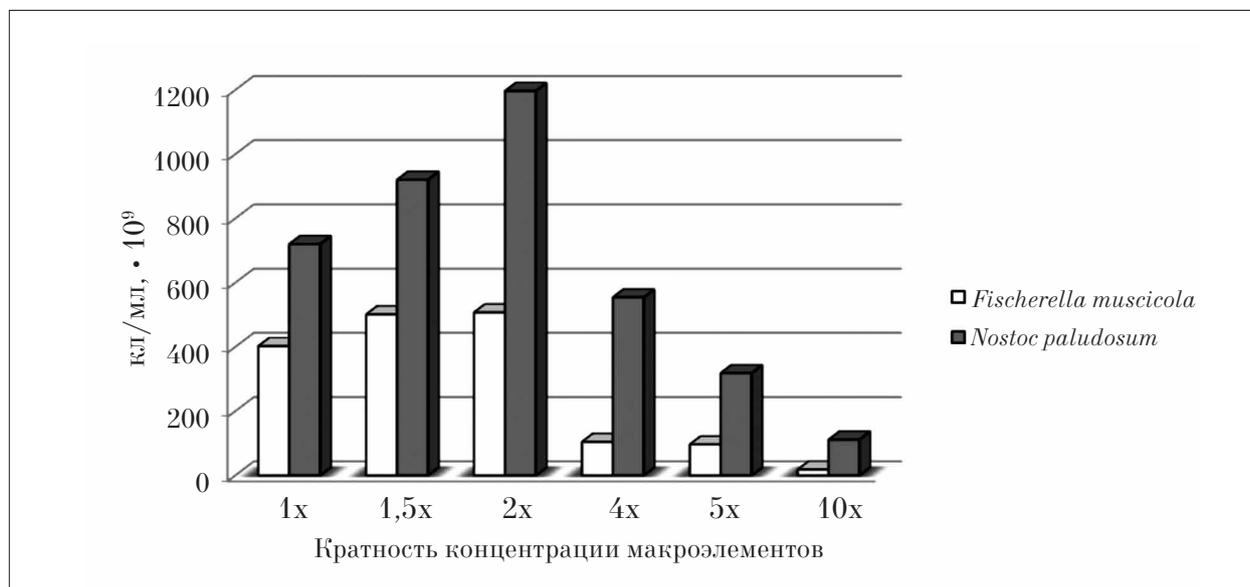


Рис. 2. Влияние концентрации макроэлементов питательной среды на интенсивность размножения цианобактерий при 8-недельном культивировании

Таким образом, повышение концентрации макроэлементов в 1,5–2,0 раза приводит к существенной интенсификации роста популяции *N. paludosum* также в 1,5–2,0 раза, но практически не сказывается на интенсивности роста *F. muscicola*.

Влияние концентрации микроэлементов на рост цианобактерий. Как правило, микроэлементы добавляются в питательную среду при выращивании микроорганизмов в виде катионов неорганических солей. Чаще всего нет необходимости специально вносить их в среду, так как большинство микроэлементов являются примесью солей макроэлементов или попадают в среду с частицами пыли, из стеклянной посуды или в составе водопроводной воды. Однако для жизнедеятельности ЦБ, как и для большинства азотфиксаторов, необходимо определённое количество микроэлементов.

Так, в состав среды Громова входят следующие соли, содержащие микроэлементы: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,005 г; $MnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,45 г; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ – 0,0197 г; H_3BO_3 – 0,41 г; $(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4H_2O$ – 0,25 г; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 2,375 г; $CaCl_2$ – 0,3 г; $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ – 0,02 г; ЭДТА – 2,5 г на 1 л дистиллированной воды.

Влияние возрастающих доз микроэлементов на интенсивность роста изучаемых видов ЦБ изучали в опыте с повышением их концентрации от 1,5 до 10 раз (рис. 3–4). Отзывчивостью на внесение микроэлементов обладают и *N. paludosum*, и *F. muscicola* при обоих сроках культивирования в диапазоне концентраций от 2-кратного до 10-кратного увеличения, по сравнению с контролем. Результаты опыта

показывают, что рациональнее всего для обоих видов ЦБ использовать 2-кратное увеличение концентрации микроэлементов при 8-недельном культивировании, что даёт увеличение численности популяций ЦБ практически в 2,5 раза.

Влияние концентрации агар-агара на рост цианобактерий. Агар-агар – полисахарид, который в микробиологической практике используется для получения плотных питательных сред в концентрациях от 1,5 до 3%, полужидких от 0,3 до 0,7%. Выпускаемые для агрономической практики микробные биопрепараты в качестве наполнителей содержат различные вещества, но очень редко агар-агар. Исключением является препарат «Ризоверм», разработанный на кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской ГСХА [13]. Созданный препарат на основе клубеньковых бактерий отличается от существующих на рынке полужидкой консистенцией, которая позволяет его расфасовывать в удобные пластиковые контейнеры, он легко разводится водой и наносится на семена. Подобная идея положена в основу создания биопрепарата на основе ЦБ. Вследствие этого проведены опыты, определяющие эффективность роста ЦБ при концентрациях агар-агара от 0,025 до 2,5% (рис. 5, 8).

Максимальная численность клеток *N. paludosum* и *F. muscicola* зарегистрирована при 8-недельном культивировании с концентрацией агар-агара 0,05%.

Проведение данных опытов показало, что при выращивании в жидкой питательной

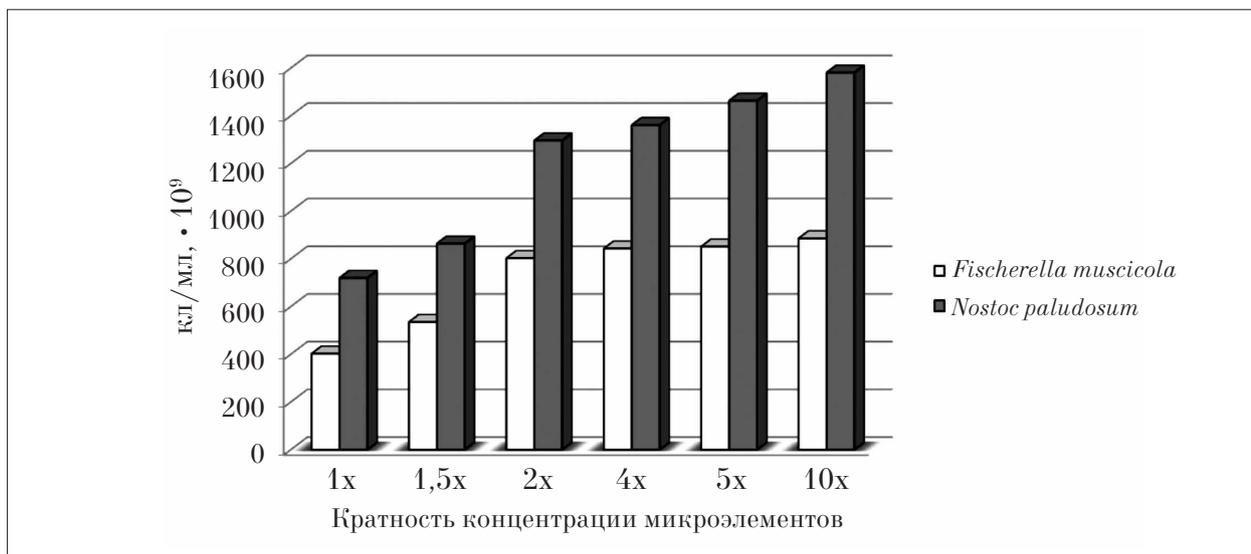


Рис. 3. Влияние концентрации микроэлементов на интенсивность размножения цианобактерий при 5-недельном культивировании

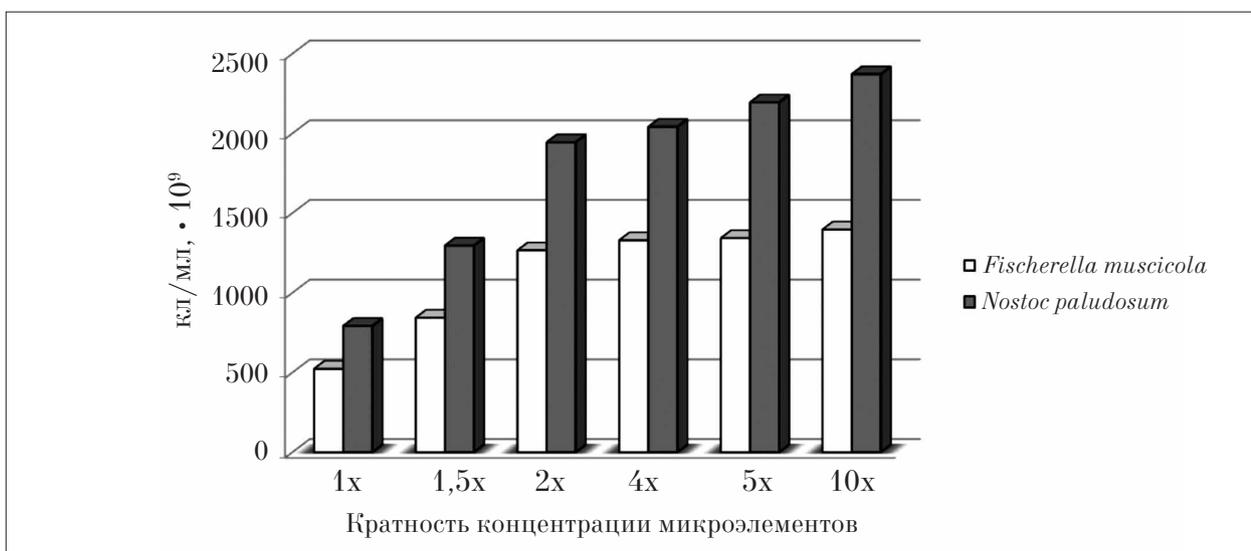


Рис. 4. Влияние концентрации микроэлементов питательной среды на интенсивность размножения при 8-недельном культивировании

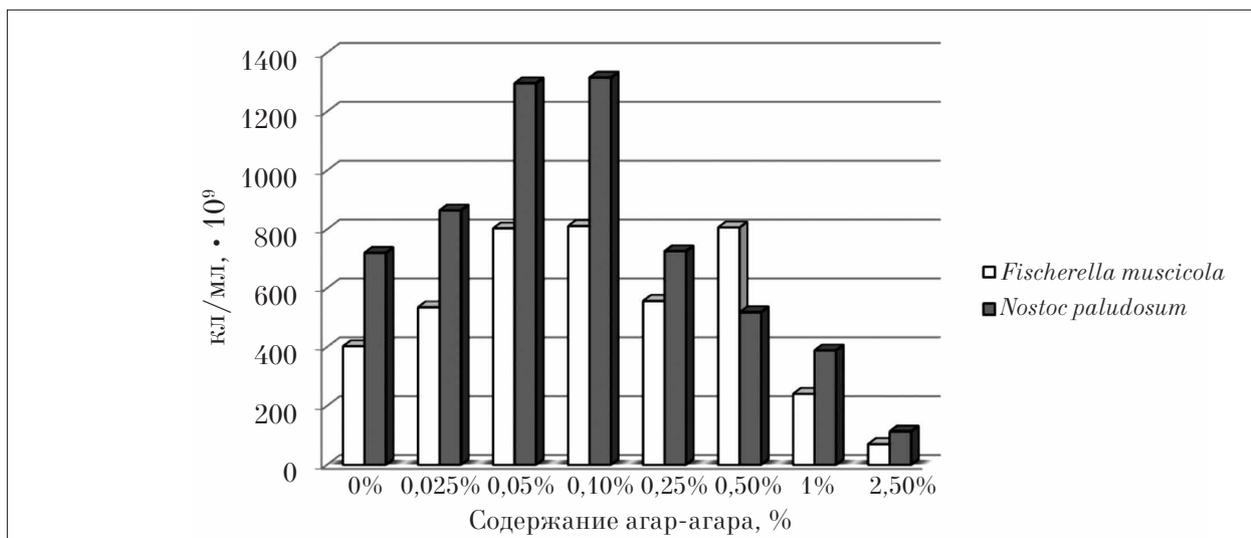


Рис. 5. Влияние концентрации агар-агара на интенсивность размножения при 5-недельном культивировании

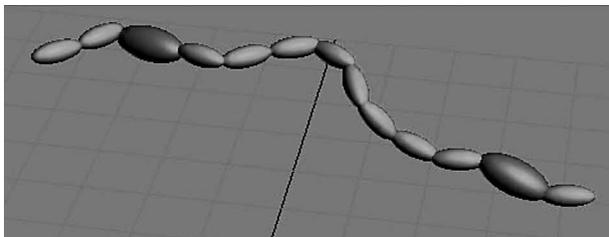


Рис. 6. Модель нити цианобактерий

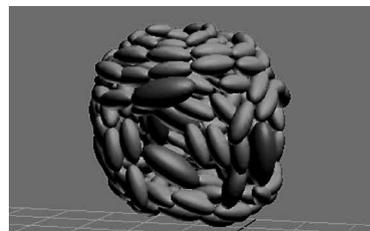


Рис. 7. Модель колонии цианобактерий

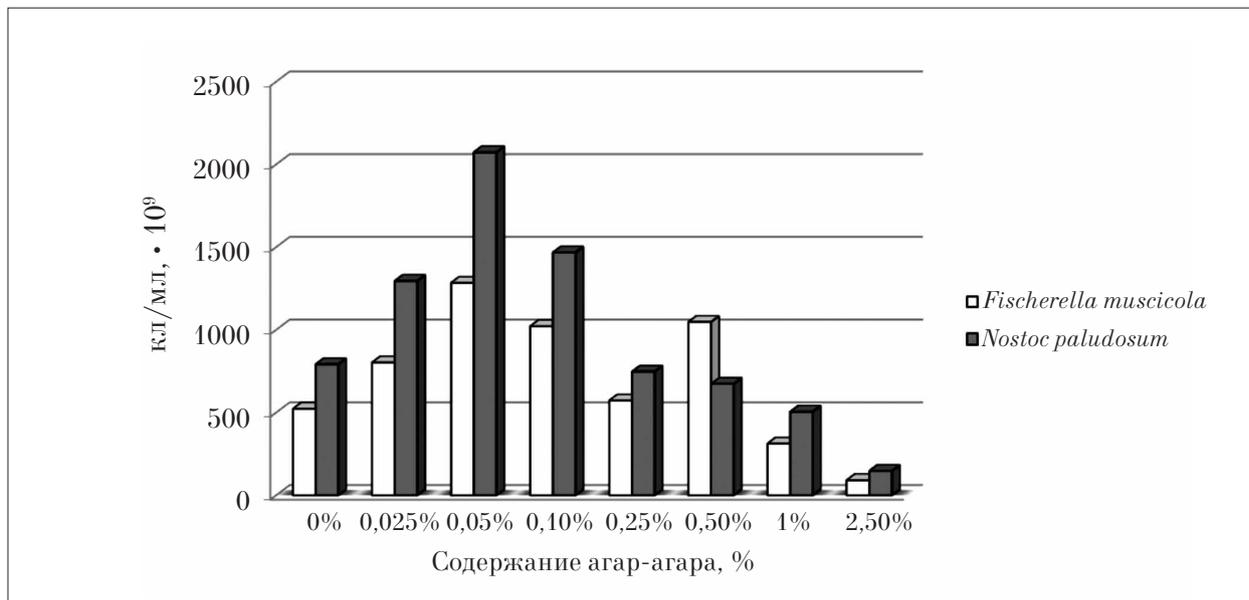


Рис. 8. Влияние концентрации агар-агара на интенсивность размножения цианобактерий при 8-недельном культивировании

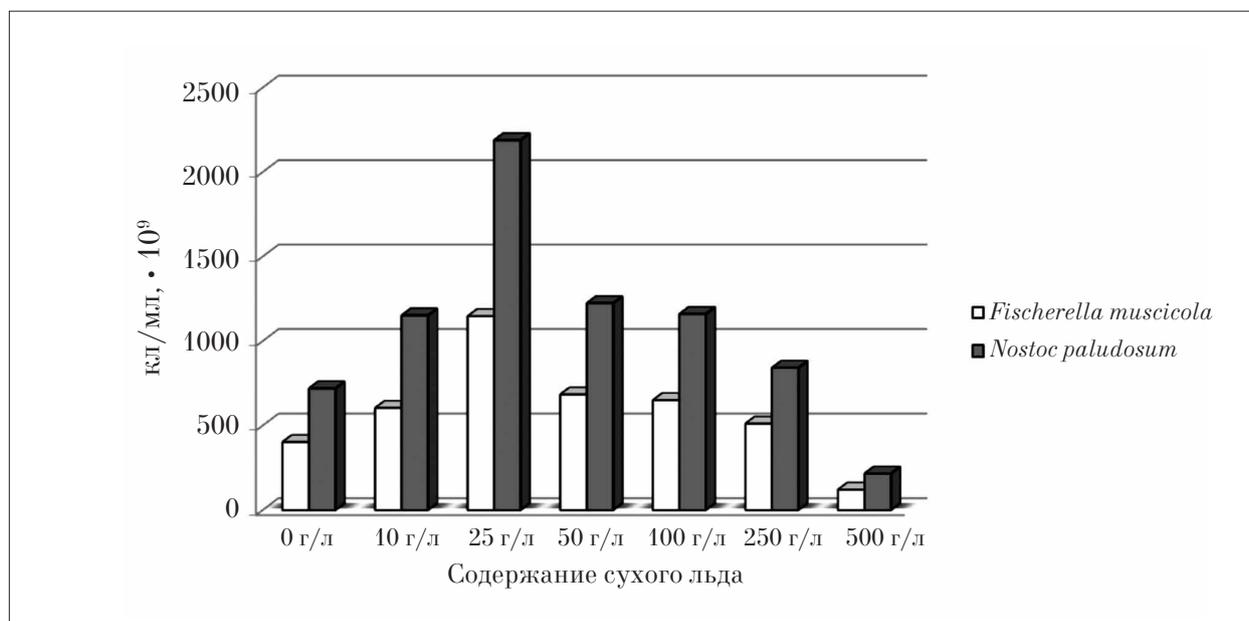


Рис. 9. Влияние сухого льда на интенсивность размножения при 5-недельном культивировании

среде ЦБ образуют плёночные разрастания в основном на стенках колб, после отделения биоплёнок и их гомогенизации появляются отдельные нити (рис. 6).

При выращивании на полужидких питательных средах ЦБ образуют колонии в виде шаров, которые, в свою очередь, состоят из накрученных самих на себя цепочек ЦБ (рис. 7).

Использование полужидкой питательной среды с концентрацией агар-агара 0,05% оказалось наиболее благоприятным для культивирования ЦБ. Эта концентрация агар-агара позволяет ЦБ образовывать колонии в виде шариков с удвоением численности клеток ЦБ, по сравнению с контролем, при 5-недельной экспозиции (рис. 5).

По итогам 8 недель наибольший прирост даёт вариант с 0,05% агара. Колонии представляют собой плотно скрученные комки ЦБ, которые практически не разбиваются при гомогенизации. Для того, чтобы их разбить, приходилось увеличивать время гомогенизации до 20 минут. Разница между контролем и данным вариантом составила 2,5 раза для *F. muscicola* и 2,6 раза для *N. paludosum* (рис. 8).

Влияние концентрации углекислого газа на рост цианобактерий. При интенсивном выращивании ЦБ остро стоит проблема углеродного обмена. При классическом способе культивирования углекислый газ поглощается питательной средой из воздуха, но при интенсификации процессов этот способ не эффективен. Растворение сухого льда в питательной среде реша-

ет эту проблему. Растворяясь, сухой лёд, частично переходит в растворенный углекислый газ, частично в угольную кислоту и частично в карбонаты и гидрокарбонаты. В серии опытов было показано, что насыщение питательной среды диоксидом углерода в концентрации 25 г/л приводит к стремительному увеличению численности обеих популяций ЦБ.

По итогам 5 недель культивирования в этом варианте наблюдалось увеличение численности клеток в 2,9 раз для *F. muscicola* и в 3 раза для *N. paludosum* (рис. 9). Колонии ЦБ представляли собой шары из скрученных нитей ЦБ диаметром 1,5–2 см, которые легко разбиваются на отдельные нити.

По итогам 8 недель культивирования самым результативным также оказался вариант с растворением 25 г сухого льда. Он превосходит контроль в 3,8 раза. При растворении 50 г и более количество клеток увеличивается не столь значительно. А при растворении 500 г происходит угнетение развития ЦБ (рис. 10). Вероятнее всего это связано с повышением кислотности питательной среды в результате образования из диоксида углерода угольной кислоты, при диссоциации которой образуется ионы H^+ .

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что среди путей совершенствования массового культивирования ЦБ, помимо повышения уровня освещённости, большое значение имеет оптимизация состава стандартной питательной среды Громова № 6. Наиболее эффективные варианты

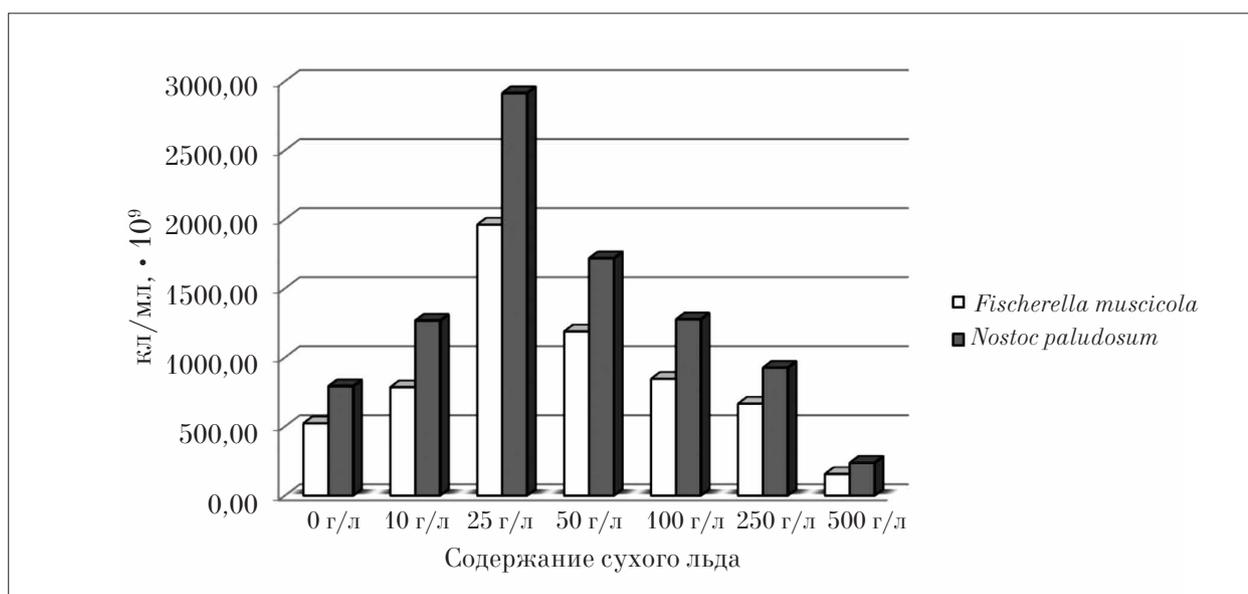


Рис. 10. Влияние сухого льда на интенсивность размножения цианобактерий при 8-недельном культивировании

Таблица 2

Прирост численности клеток в результате оптимизации условий культивирования цианобактерий по сравнению с контролем (%)

Показатель	Время культивирования			
	5 недель		8 недель	
	<i>Fischerella muscicola</i>	<i>Nostoc paludosum</i>	<i>Fischerella muscicola</i>	<i>Nostoc paludosum</i>
Концентрация макроэлементов (разы по отношению к контролю)				
1,5	124,5	127,8	153,3	185,9
2,0	126,1	166,2	126,1	196,4
Концентрация микроэлементов (разы по отношению к контролю)				
1,5	133,0	120,0	161,3	163,6
2,0	199,5	180,0	242,0	245,4
4,0	209,5	189,0	254,1	257,7
5,0	211,5	203,2	266,6	277,1
10,0	220,1	219,5	267,0	299,4
Концентрация агар-агара (%)				
0,025	133,0	120,0	153,5	163,6
0,05	199,5	180,0	245,5	261,8
0,1	219,5	207,0	212,7	210,0
0,25	138,3	100,8	109,6	94,4
0,5	200,3	72,0	200,3	85,0
Концентрация CO ₂ (сухой лед, г/л)				
10	150	160,0	150,0	160,0
25	285,0	304,0	375,0	368,0
50	170	170,0	227,2	217,0
100	161,5	161,1	107,7	161,1
250	71,0	68,9	127,1	116,9

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения.

с концентрациями применяемых веществ отражены в таблице 2.

Выводы

В процессе массового культивирования ЦБ большое значение имеет уровень освещённости. Переход от выращивания ЦБ в люминостате при освещённости 1000 лк к биореактору при освещённости 4000 лк приводит к возрастанию темпов размножения у *N. paludosum* почти в 2 раза, а у *F. muscicola* в 3,5 раза.

Манипуляции с изменением концентрации макро- и микроэлементов в составе стандартной питательной среды Громова № 6 без азота показали, что оптимальным для выращивания ЦБ является увеличение концентрации макроэлементов в 1,5 раза, а микроэлементов в 2 раза.

К стимуляции размножения испытуемых видов ЦБ приводит переход в процессе культивирования от плотной питательной среды к полужидкой с концентрацией агар-агара на уровне 0,05%.

Из всех испытанных приёмов модификации среды культивирования наибольший эффект получен от её насыщения углекислотой. При концентрации CO₂ в виде сухого льда, равной 25 г/л, интенсивность размножения ЦБ при 8-недельном культивировании возрастает почти в 3,8 раза, по сравнению с контролем.

Таким образом, изменяя уровень освещённости, концентрацию макро-, микроэлементов и агар-агара, а также дополнительно насыщая питательную среду углекислым газом в виде сухого льда, можно добиться существенного увеличения выхода цианобактериальной биомассы, необходимой для создания биопрепаратов полифункционального действия.

Литература

References

1. Андреюк Е.И., Коптева Ж.П., Занина В.В. Цианобактерии. Киев: Наукова думка, 1990. 200 с.
2. Ефимов А.А. Синезелёные водоросли гидротерм Камчатки как источник биологически активных веществ // Роль системообразующего фактора в процессе формирования и развития объединяющих территорий: Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 158–161.
3. Chakdar H., Jadhav S.D., Dhar D.W., Pabbi S. Potential applications of blue green algae // Journal of Scientific and Industrial Research. 2012. V. 71. P. 13–20.
4. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе. Курск: Изд-во Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. 182 с.
5. Abed R.M.M., Dobretsov S., Sudesh K. Applicatoins of cyanobacteria in biotechnology // J. of Appl. Microbiology. 2009. V. 106. № 1. P. 1–12.
6. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Попов Л.Б., Зыкова Ю.Н. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 8–18.
7. Панкратова Е.М., Трефилова Л.В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 4–14.
8. Фокина А.И., Домрачева Л.И., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Злобин С.С. Микроорганизмы как биосорбенты поллютантов // Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. С. 232–252.
9. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Кудряшов Н.А., Ашихмина Т.Я. Биоиндикационные и биотестовые реакции организмов на действие метилфосфонатов и пирофосфата натрия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 63–69.
10. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Ковина А.Л., Горностаева Е.А., Казакова Д.В., Субботина Е.С. Микробная интродукция и состояние почвенной аборигенной микрофлоры // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 55–59.
11. 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 р. *Phormidium* // Сибирский экологический журнал. 2015. № 6. С. 842–851.
12. Кудряшов Н.А., Симакова В.С., Домрачева Л.И. Совершенствование методов культивирования цианобактерий // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. II Междунар. научно-практической конф., посвящённой 105-летию со дня рождения профессора Эмили Адриановны Штиной. Киров: Вятская ГСХА, 2015. С. 186–191.
13. Калинин А.А., Трефилова Л.В., Ковина А.Л. Использование препарата «Ризоверм» под бобовые культуры. Киров: Вятская ГСХА, 2015. 28 с.

1. Andreyuk E.I., Kopteva Zh.P., Zanina V.V. Cyanobacteria. Kiev: Naukova dumka, 1990. 200 p. (in Russian).
2. Efimov A.A. Blue-green algae of the hydrotherm of Kamchatka as a source of biologically active substances // The role of the system-forming factor in the process of formation and development of unifying territories: Materialy Mezhhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2006. P. 158–161 (in Russian).
3. Chakdar H., Jadhav S.D., Dhar D.W., Pabbi S. Potential applications of blue green algae // Journal of Scientific and Industrial Research. 2012. V. 71. P. 13–20.
4. Lukyanov V.A., Stifeyev A.I. Applied aspects of microalgae application in agroecosis. Kursk: Izd-vo Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii, 2014. 182 p. (in Russian).
5. Abed R.M.M., Dobretsov S., Sudesh K. Applicatoins of cyanobacteria in biotechnology // J. of Appl. Microbiology. 2009. V. 106. No. 1. P. 1–12.
6. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Popov L.B., Zykova Yu.N. Bioremediation possibilities of soil cyanobacteria (review) // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2009. No. 1. P. 8–18 (in Russian).
7. Pankratova E.M., Trefilova L.V. Symbiosis as a basis for the existence of cyanobacteria in natural conditions and in constructed systems // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2007. No. 1. P. 4–14 (in Russian).
8. Fokina A.I., Domracheva L.I., Zykova Yu.N., Berезin G.I., Zlobin S.S. Microorganisms as biosorbents of pollutants // Features of urboecosystems of the subzone of the southern taiga of the European Northeast. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. P. 232–252 (in Russian).
9. Kondakova L.V., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Kudryashov N.A., Ashikhmina T.Ya. Bioindication and biotest reactions of organisms to the action of methylphosphonates and sodium pyrophosphate // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2014. No. 4. P. 63–69 (in Russian).
10. Domracheva L.I., Trefilova L.V., Kovina A.L., Gornostayeva E.A., Kazakova D.V., Subbotina E.S. Microbial introduction and the state of soil aboriginal microflora // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. No. 2. P. 55–59 (in Russian).
11. Fokina A.I., Gornostayeva E.A., Ogorodnikova S.Yu., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Kondakova L.V. Adaptation reserves of soil natural biofilms with dominance of cyanobacteria r. *Phormidium* // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2015. No. 6. P. 842–851 (in Russian).
12. Kudryashov N.A., Simakova V.S., Domracheva L.I. Perfection of methods of cultivation of cyanobacteria // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Mater. II Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf., posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya professora Emilii Adrianovny Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2015. P. 186–191 (in Russian).
13. Kalinin A.A., Trefilova L.V., Kovina A.L. Use of the drug “Rizoverm” for legumes. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2015. 28 p. (in Russian).

УДК 504.05

Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации

© 2017. В. С. Тикунов, д. г. н., профессор, зав. центром, О. Ю. Черешня, к. г. н., н. с., Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: tikunov@geogr.msu.ru, chereshnia.o@geogr.msu.ru

В статье представлена методика интегральной оценки экологической ситуации на основе разработанных индексов загрязнения и напряжённости экологической ситуации. С помощью индекса загрязнения оценивается состояние окружающей среды в регионах на основе показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образования твёрдых бытовых отходов (ТБО) и сброса загрязнённых сточных вод. Индекс напряжённости экологической ситуации позволяет учитывать площадь, на которую приходится загрязнение, антропогенную нагрузку и экологическую ответственность населения, а также экологичность производства на основе удельных показателей, отображающих нагрузку, создаваемую выбросами в атмосферу, ТБО и сбросом загрязнённых сточных вод на территорию каждого региона, на душу населения и по отношению к природоёмкости производства. Апробация была проведена на примере регионов России за 2014 г., и на основе полученных результатов создана серия карт. С помощью методики проведён анализ экологической ситуации, выявлены некоторые регионы, в которых оказывается непропорционально высокая нагрузка на окружающую среду. Подчеркнута важность удельных показателей, позволяющих оценивать своеобразный «экологический след» каждого человека или экономики региона.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, ТБО, сточные воды, экологическая ситуация, индекс загрязнения, индекс напряжённой экологической ситуации.

The pollution index and the index of the ecological tension in the regions of the Russian Federation

V. S. Tikunov, O. Yu. Chereshnia,
Lomonosov Moscow State University,
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991,
e-mail: tikunov@geogr.msu.ru, chereshnia.o@geogr.msu.ru

The article presents a methodology for a comprehensive assessment of the environmental situation in the regions of the Russian Federation based on the pollution index and the index of ecological tension. The evaluation was carried out in two stages. At the first stage the degree of pollution of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere of the regions was estimated on the basis of emission of pollutants into the atmosphere from stationary sources, formation of solid domestic wastes (SDW), and discharge of contaminated wastewater. Based on these three indicators, a pollution index was constructed that estimates aggregate pollution level. At the second stage the authors estimated the loads generated by atmospheric emissions, solid waste, and waste water discharged into the territory of each region, per capita and in relation to the environmental capacity of the economy. This allows us to take into account the area of pollution, anthropogenic pressure, and environmental responsibility of the population, as well as the environmental friendliness of production. On the basis of relative indicators, the index of ecological tension was created. Aprrobation was carried out by the example of the regions of Russia for 2014. The series of maps were created based on the obtained results. With the help of the methodology, an analysis of the environmental situation was carried out, some regions with a disproportionately high environmental load were identified. The importance of specific indicators to assess the peculiar "ecological footprint" of each person or the production of the region is underlined.

Keywords: pollution of the atmosphere, solid waste, sewage, ecological situation, pollution index, index of the ecological tension.

Ввиду коренных изменений в природе, вызванных хозяйственной деятельностью человека, интенсификацией добычи и использования природных ресурсов, особую важность приобретает разработка методик интегральной оценки состояния окружающей среды на региональном уровне. Подобные методики

позволяют оценивать происходящие процессы в совокупности, определять приоритетные направления, выявлять региональные экологические проблемы. Картографирование на основе системы чётких критериев оценки позволяет представлять данные в удобной для лиц, принимающих решения, форме, привле-

кратить внимание широкой общественности к существующим проблемам.

Довольно активно в мире предпринимаются попытки рассчитать интегральные индексы, базирующиеся на экологических параметрах. Например, агрегированный индекс «живой планеты» (ИЖП) (Living Planet Index) для оценки состояния природных экосистем планеты исчисляется в рамках ежегодного доклада Всемирного фонда дикой природы (World Wild Fund) и исследование Йельского и Колумбийского университетов по расчёту индекса экологической устойчивости (Environmental Sustainability Index) [1].

Опыт разработки подобных индикаторов имеется и в нашей стране. Однако его применение в основном ограничено отдельными регионами. Работ для межрегионального сопоставления не много. Например, эколого-экономический индекс регионов Российской Федерации (РФ), разработанный совместно WWF России и РИА-Новости [2]. Разработанный индекс учитывает экологическую устойчивость развития в широком контексте, включая экологический, экономический и социальный факторы. Экологический рейтинг регионов представлен Общероссийской общественной организацией «Зелёный патруль» [3]. В целом, в стране развивается процесс разработки методик оценки, хотя темпы этого процесса ещё явно недостаточны и проблема построения интегрального показателя экологической обстановки в настоящее время ещё не решена окончательно.

В качестве основы для такой оценки могут быть приняты *индекс загрязнения* и *индекс напряжённости экологической ситуации*. С помощью этих индексов комплексно оценивается качество воды, воздуха и литосферы регионов на основе показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образования твёрдых бытовых отходов (ТБО) и сброса загрязнённых сточных вод. Здесь необходимо отметить некоторую условность показателей загрязнения, распространяющихся при картографировании, на площадь всего региона. Естественно, при таком способе картографирования возникают условности, например, в Красноярском крае, где Норильск соседствует с одним из самых чистых районов – Эвенкией. Однако для лиц, принимающих решения на уровне субъектов РФ, именно такое представление данных оказывается предпочтительным.

Качество воды и воздуха относятся к главным экологическим факторам, влияющим на качество жизни населения. Приблизитель-

ные оценки экономических издержек, рассчитанных для России Всемирной организацией здравоохранения, показывают, что ущерб для здоровья населения от загрязнения воды и воздуха составляет в среднем не менее 4,1–6,6% от валового внутреннего продукта страны, а суммарный максимальный ущерб общественному здоровью может достигать 7% [4]. Образование ТБО является следствием жизнедеятельности человека и существенным фактором загрязнения литосферы и гидросферы, воздействия опасных веществ и возбудителей инфекций на людей. В России остро стоит проблема утилизации таких отходов.

Исходные абсолютные показатели загрязнения воздуха информативны при рассмотрении их вклада в общее загрязнение, но так как регионы России крайне неоднородны, как по населению и территории, так и по производственному потенциалу, для более глубокой оценки абсолютных показателей недостаточны. Индекс напряжённости экологической ситуации позволяет учитывать площадь, на которую приходится загрязнение, антропогенную нагрузку и экологическую ответственность населения, а также экологичность производства на основе удельных показателей, отображающих нагрузку, создаваемую выбросами в атмосферу, ТБО и сбросом загрязнённых сточных вод на территорию каждого региона, на душу населения и по отношению к природоёмкости производства. Индикатор природоёмкости производства рассчитывается, как валовые показатели загрязнения на единицу валового регионального продукта (ВРП) [5]. Он позволяет оценить интенсивность загрязнения воздушного бассейна, гидросферы и литосферы. Величина показателя напрямую зависит от степени малоотходности технологии, природоохранных мероприятий, структуры производства, используемой энергии. Снижение интенсивности загрязнения окружающей среды производственной деятельностью является одним из условий устойчивого развития.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстата).

Для получения индекса загрязнения исходные абсолютные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников, образования ТБО и сброса загрязнённых сточных вод были агрегированы с использованием оценоч-

ного алгоритма, разработанного одним из авторов [5]. Он включает нормировку системы исходных показателей по формуле (1):

$$\hat{X}_{ij} = \frac{|x_{ij} - x_j^0|}{|x_j^{ext} - x_j^0|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1),$$

где \hat{X}_{ij} – нормированное значение; x_j^0 – наихудшее значение по j -му показателю из всех встречающихся с точки зрения их влияния на экологическую ситуацию в регионах России; x_j^{ext} – экстремальные (наиболее отличающиеся от x_j^0) значения показателей; n – количество исследуемых территориальных единиц; m – число показателей, использованных для расчетов ($m = 3$). Целью данной нормировки является перевод показателя в отклонение от заданного наилучшего или наихудшего значения. Полученные в результате нормировки показатели ограничены отрезком [0, 1].

Обычно при построении классических рейтингов на основе агрегированных показателей используются либо простая сумма нормированных значений, либо простое среднее (в некоторых случаях применяют взвешенную сумму или взвешенное среднее). Осредняя исходные показатели таким образом и превращая их в агрегированный индекс, мы неизбежно сводим всю информацию к некоторому средневзвешенному уровню. Это особенно искажает картину при построении экологических индексов. Для ситуации, которую можно назвать «экологическая катастрофа», вполне достаточно, чтобы всего лишь один из всего множества анализируемых показателей превысил критический уровень загрязнения. Но если все остальные показатели находятся на нормальном уровне, то построенный с использованием аддитивности комплексный индекс может оценить экологическую ситуацию как вполне стабильную.

Поэтому при синтезе индексов авторами используется метод расстояния до наихудшей единицы. Путём сравнения показателей всех территориальных единиц с условной территориальной единицей, характеризующейся наихудшими значениями по всему массиву данных, произведено их ранжирование. Оно осуществлялось с использованием евклидовых расстояний (d). Это позволяет подчеркнуть влияние отдельных координат, имеющих аномально большие значения, поскольку они возводятся в квадрат.

Полученные значения вектора-столбца d интегральных оценочных характеристик для удобства дальнейшего анализа дополнительно нормируются по формуле (2):

$$\hat{d}_i = \frac{d_i - d_i^{\min}}{d_i^{\max} - d_i^{\min}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2),$$

где \hat{d}_i – нормированное значение d . Величина \hat{d}_i варьирует в пределах от нуля до единицы. Ноль соответствует наихудшей комплексной оценке, а единица – наилучшей.

Индекс напряжённости экологической ситуации получен с помощью того же самого оценочного алгоритма. Для учёта факторов антропогенной нагрузки, распределения загрязнения по территории и природоёмкости производства абсолютные показатели загрязнения следует соотнести с показателями населения, территории и «чистого» ВРП всех включённых в анализ территориальных единиц. Такой подход позволяет с помощью небольшого количества исходных показателей наиболее комплексно характеризовать территории и оценить напряжённость экологической ситуации. Показатель «чистого» ВРП разработан для учёта фактора пространственной дифференциации производства, обуславливающего значительные различия в характере и интенсивности антропогенного воздействия. Из общего ВРП исключены те отрасли, которые производят наибольшее количество отходов, а также выбросов веществ, загрязняющих атмосферу. Подавляющее большинство твёрдых отходов образуется в добывающей промышленности, сточных вод – при производстве и распределении электроэнергии, а выбросов в воздух – в металлургии, энергетике и при добыче горных полезных ископаемых [6].

Расчёт индекса напряжённости экологической ситуации в итоге проходит в два этапа. На первом этапе получены три подиндекса из показателей, отнесённых к населению, территории и «чистому» ВРП. На втором этапе из полученных подиндексов с помощью того же алгоритма рассчитывается интегральный индекс (рис. 1, см. цв. вкладку).

Результаты и их обсуждение

Полученные с использованием абсолютных показателей результаты показывают огромный разрыв в уровне напряжённости экологической ситуации в регионах добычи и первичной переработки ресурсов от большинства остальных регионов (рис. 2, см. цв. вкладку). Это не недостаток методики, а реальная территориальная диспропорция, характерная для России.

Наихудшее значение индекса загрязнения отмечено в Кемеровской области. Высокое зна-

Тикунов В. С., Черешня О. Ю.
«Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации» (С. 34)

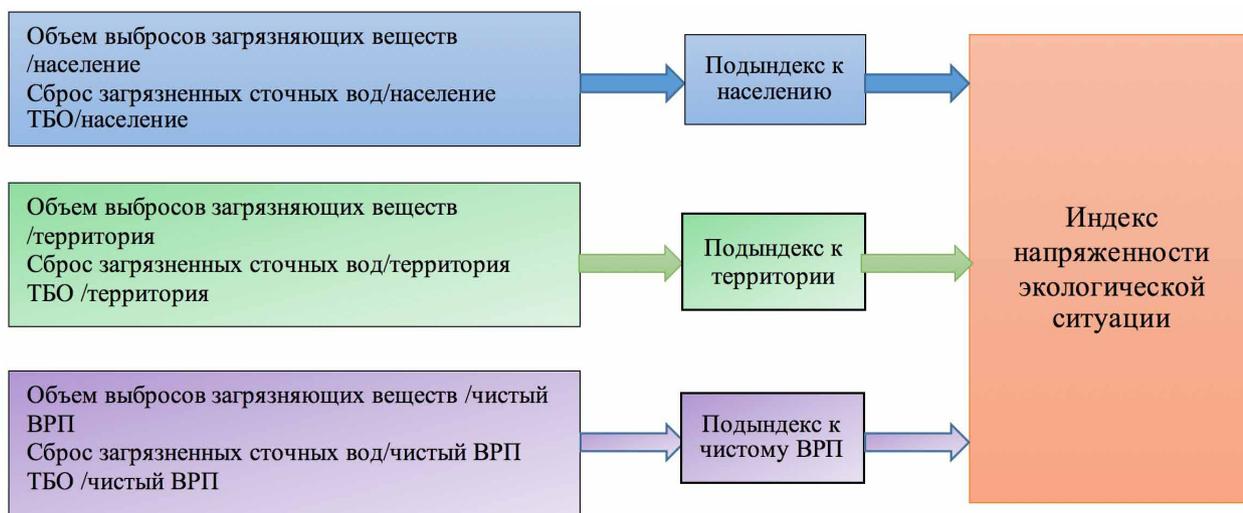


Рис. 1 Схема расчёта индекса напряжённости экологической ситуации (составлена автором)

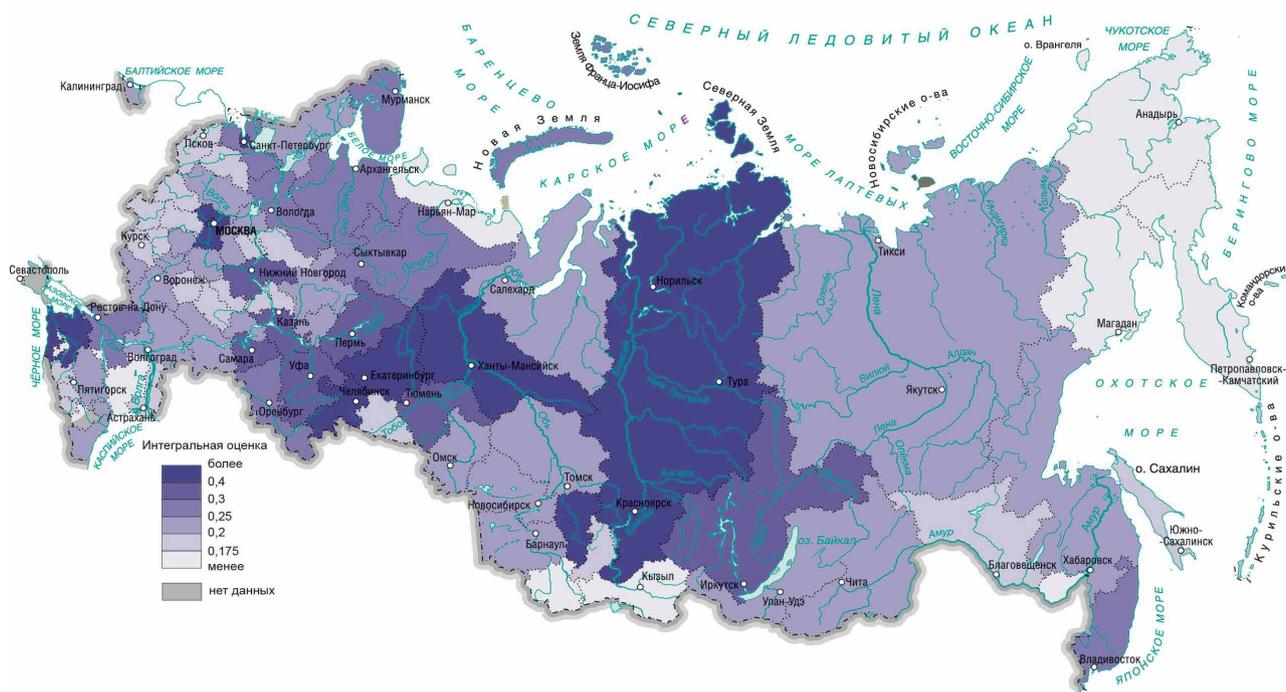


Рис. 2. Индекс загрязнения, 2014 г.

Тикунов В. С., Черешня О. Ю.
«Индекс загрязнения и индекс напряжённости экологической ситуации в регионах Российской Федерации» (С. 34)



Рис. 3. Соотношение загрязнения воздуха, воды и образования ТБО в индексе загрязнения, 2014 г.

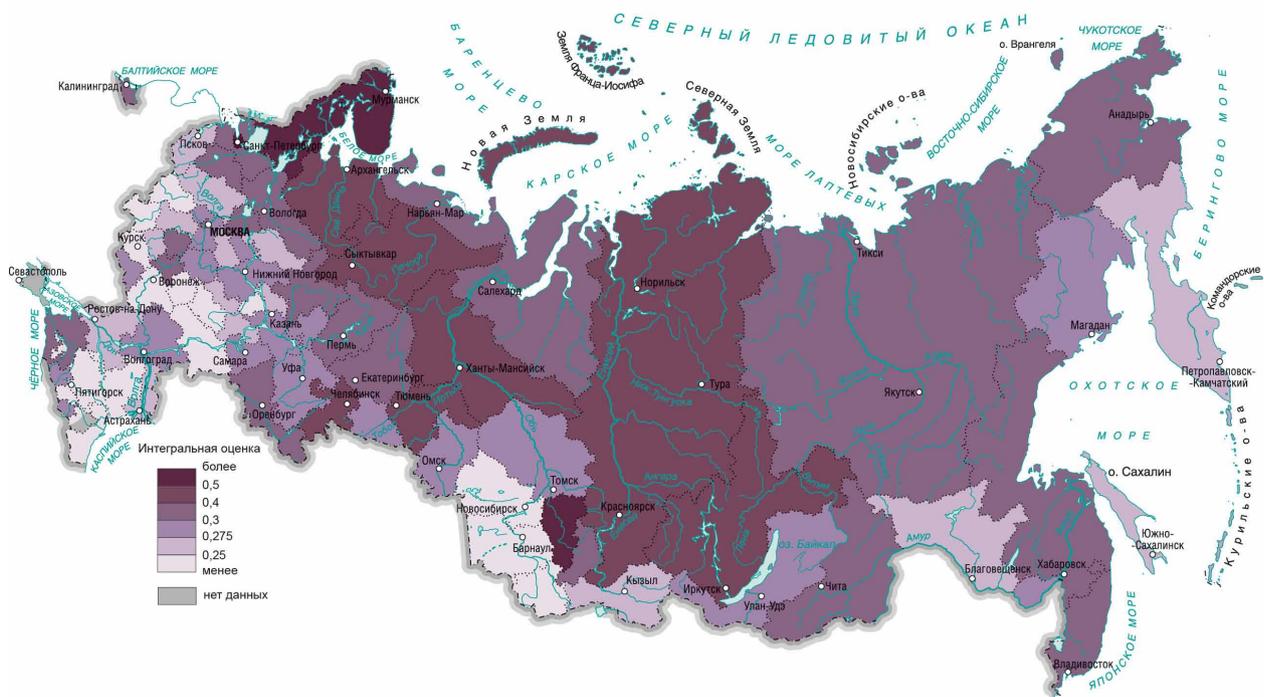


Рис. 4. Индекс напряжённости экологической ситуации, 2014 г.

чение индекса в этом регионе обусловлено высоким уровнем загрязнения по всем трём показателям. В Кемеровской области, территория которой составляет 0,56% от площади России, образуется около 51% всех твёрдых бытовых отходов – 2 640 млн т, из них 1580 млн т размещено на объектах хранения и захоронения. Около 98% составляют отходы предприятий по добыче полезных ископаемых. В области сосредоточены предприятия угольной промышленности с наибольшим объёмом образованных твёрдых отходов в стране: ОАО «УК «Кузбассразрезголь», Прокопьевский р-н; ОАО «УК «Южный Кузбасс», г. Междуреченск; ОАО «Разрез Виноградовский», Беловский р-н; ОАО «Черниговец», г. Берёзовский. В регионе один из самых высоких показателей загрязнения воздуха (3-е место среди регионов, 1332 тыс. т) и значительный объём сброшенных загрязнённых сточных вод – 478,3 млн м³ (10-е место).

Второе место в рейтинге загрязнения занял Красноярский край. При невысоких объёмах сброса загрязнённых сточных вод, регион характеризуется высокими выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. Доминирующую роль в структуре выбросов от стационарных источников в Красноярском крае занимают выбросы SO₂ от объектов обрабатывающих производств, которые в 2014 г. составили 1813 тыс. т [8]. ОАО «ГМК «Норильский никель», расположенный в Красноярском крае, относится к предприятиям с наибольшим объёмом выбросов от стационарных источников в стране. Регион находится на втором месте по объёму ТБО – 450 млн т. Наибольшая доля отходов края приходится на отходы предприятия ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс».

Самые низкие показатели загрязнения в Магаданской области, Кабардино-Балкарской Республике, Республике Адыгея, Чувашской Республике, Еврейской автономной области, Чукотском автономном округе, Республике Тыва, Республике Калмыкия, Республике Алтай и Республике Ингушетия.

Для визуализации пропорционального соотношения загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы в интегральном индексе построена карта по методике цветового треугольника (RGB), где каждому показателю соответствует свой цвет: ТБО – красный, сбросу загрязнённых сточных вод – синий, а выбросам загрязняющих веществ в атмосферу – зелёный (рис. 2, см. цв. вкладку). Одинаковому уровню развития по всем трём компонентам соответствует смешение равных долей этих трёх цветов – серый.

Как видно на карте, в основном в регионах преобладают либо выбросы в атмосферу, либо сброс загрязнённых сточных вод. Значительную, но не самую весомую, долю от общего загрязнения ТБО занимают лишь Кемеровская область, Республика Хакасия и Чукотский автономный округ.

Некоторые регионы, показывающие низкий уровень загрязнения по индексу загрязнения, с учётом территории, населения и чистого ВРП имеют худший результат (рис. 4, см. цв. вкладку). Например, Мурманская область, которая по индексу загрязнения находится на 14-м месте, а по индексу напряжённости экологической ситуации – на втором. В области остро стоит проблема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, особенно сажи и SO₂. Наибольшее количество выбросов от стационарных источников в атмосферный воздух отмечается на территории районов, где расположены крупнейшие предприятия цветной металлургии, в частности ОАО «Кольская ГМК». Водные ресурсы интенсивнее всего загрязняются горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями, в частности, ОАО «Апатит» находится среди 50 крупнейших предприятий-источников загрязнения поверхностных вод. Кроме того, область находится на 4-м месте в стране по объёму образования ТБО. Всё это, учитывая высокую концентрацию загрязнения на территории и небольшую численность населения, свидетельствует о тяжёлой экологической обстановке. Схожая ситуация наблюдается в Ненецком автономном округе и Республике Карелия. Незаселённые территории этих регионов можно было бы назвать экологически стабильными, но удельные показатели свидетельствуют о том, что в местах концентрации населения экологическая ситуация весьма напряжённая.

И, напротив, относительные показатели улучшают позиции в рейтинге для регионов с большой территорией, высокими показателями загрязнения, но достаточно локализованными, таких как, например, Красноярский край и Ханты-Мансийский автономный округ. Они по-прежнему остаются среди регионов с высокой напряжённостью экологической ситуации, но степень их загрязнения в освоенных районах теперь может быть сопоставлена с меньшими по площади регионами, такими как Мурманская область.

Улучшается положение густонаселённых регионов, таких, как Московская и Ленинградская области, в которых создаётся большая антропогенная нагрузка. Но при этом нагрузка каждого отдельного человека ниже, чем

в регионах, в которых, несмотря на низкую численность населения, масштаб загрязнения такой же из-за менее эффективной очистки сточных вод или недостаточно эффективной очистки отходящих от стационарных источников загрязняющих воздух веществ.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-17-30009).

Литература

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Бобылев С.Н., Минаков В.С., Соловьёва С.В., Третьяков В.В. Эколого-экономический индекс регионов РФ. Методика и показатели для расчёта WWF России. М.: «РИА-Новости», 2012. 150 с.
3. Экологический рейтинг. Общероссийская общественная организация «Зелёный патруль» [Электронный ресурс] <http://greenpatrol.ru/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Дата обращения: 01.05.2015).
4. Россия в окружающем мире: 2003 / Под ред. Н.Н. Марфенина. М.: Изд-во МНЭПУ, 2003. 336 с.
5. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
6. Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты) / Под ред. С.Н. Бобылева, П.А. Макеевко. М.: ЦПРИ, 2001. 220 с.
7. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП М.В. Филимонов, 2014. 560 с.

8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году» [Электронный ресурс]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Дата обращения: 26.05.2017).

References

1. Living planet report 2002 / Ed. L. Jonathan. World Wild Fund: Gland, 2002. 35 p.
2. Bobylev S.N., Minakov V.S., Solovyov S.V., Tret'yakov V.V. Ecological and economic index of Russian regions. Methodology and indicators for the calculation of WWF Russia. Moskva: "RIA-Novosti", 2012. 150 p. (in Russian).
3. Ecological rating, Russian public organization "Green Patrol" [Internet resource]: <http://greenpatrol.ru/ru/basic-page/zelenyy-patrul-istoriya-sozdaniya> (Accessed: 01.05.2015) (in Russian).
4. Russia in the World: 2003 / Ed. N.N. Marfenin. Moskva: Izd-vo MNEPU, 2003. 336 p. (in Russian).
5. Tikunov V.S. Classifications in geography: Renaissance or fading? (The experience of formal classifications). Moskva-Smolensk: Izd-vo SGU, 1997. 367 p. (in Russian).
6. Indicators of sustainable development in Russia (ecological and economic aspects) / Eds. S.N. Bobylev, P.A. Makeenko. Moskva: CPRP, 2001. 220 p. (in Russian).
7. Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the ecological state / Ed. N.S. Kasimov. Moskva: IP Filimonov M.V., 2014. 560 p. (in Russian).
8. State report "On the state and on the protection of the environment of the Russian Federation in 2010" [Internet resource]: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3f1/doklad_2014.pdf (Accessed: 26.05.2017) (in Russian).

УДК 574.23

Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа

© 2017. Ю. Н. Зыкова¹, к. б. н., доцент, зав. отд. аспирантуры,
С. Г. Скугорева^{1,2,3}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент,
Е. В. Товстик^{1,3,4}, к. б. н., магистрант, н. с., доцент,
Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

⁴ Зональный научно-исследовательский институт
сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а,
e-mail: orewek7@rambler.ru, skugoreva@mail.ru,
tovstik2006@inbox.ru, ecolab2@gmail.com

Объектами исследования были почвы г. Кирово-Чепецк и г. Слободской (Кировская область), отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах. Оценка степени токсичности отобранных образцов проводилась методами химического анализа и биотестирования с использованием высшего растения и цианобактерии (ЦБ).

Хроматографический анализ почвенных вытяжек показал, что максимальным содержанием ионов отличались вытяжки из проб почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке в промышленной (ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы) и парковой (ионы кальция и нитрат-ионы) зонах. Кроме того, в большинстве почвенных образцов содержание подвижных форм марганца превышало ПДК.

Изучено влияние почвенных вытяжек на длину корней 3-х дневных проростков редиса сорта Жара и активность дегидрогеназы альгологически чистой культуры ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. Результаты биотестирования оказались достаточно противоречивыми. Использование в качестве биотест-функции такого морфометрического показателя, как длина корней редиса показало эффект стимуляции. Вероятно, действие ТМ в опытных образцах почвы могло нивелироваться большим содержанием элементов питания для биотест-организмов (нитрат-ионы, ионы калия, кальция, ионы аммония).

В то же время клетки ЦБ в некоторых образцах оказались чувствительными к действию веществ, содержащихся в почвенной вытяжке. Выявлен явный дифференцированный ответ окислительно-восстановительного фермента ЦБ дегидрогеназы: от отсутствия угнетения до сильного подавления активности фермента (для образцов, содержащих повышенные количества ТМ и неорганических ионов).

Сопоставление данных биотестирования с данными химического анализа позволяет сделать вывод об эффективности использования в качестве тест-организма ЦБ. Однако, использование такой тест-функции, как длина корней 3-х дневных проростков редиса было не эффективно. Поэтому для фитотестирования состояния урбаноэмов требуется более тщательный подбор высших растений с учётом их вида, возраста, время экспозиции и др.

Ключевые слова: урбаноэмы, токсичность, биотестирование, редис, цианобактерии, тетразольно-топографический метод, содержание тяжёлых металлов, ионный состав.

Estimation of the state of urban soils by methods of biotesting using organisms of different systematic accessory and chemical analysis data

Yu. N. Zykova¹, S. G. Skugoreva^{1,2,3}, E. V. Tovstik^{1,3,4}, T. Ya. Ashikhmina^{2,3},

¹Vyatka State Agricultural Academy,

133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,

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

³Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

⁴N.V. Rudnitski Zonal North-East Agricultural Research Institute,

166a Lenin St., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: orewek7@rambler.ru, skugoreva@mail.ru,

tovstik2006@inbox.ru, ecolab2@gmail.com

The object of the study was soils of Kirovo-Chepetsk and Slobodskoy (Kirov region) sampled in the territories with different anthropogenic load: in industrial, transport, residential and park areas. Assessment of toxicity level of the selected samples was carried out by chemical analysis and biotesting, using a higher plant and a cyanobacteria (CB).

Chromatographic analysis of soil extracts showed that the maximum content of ions was different from extracts from soil samples collected in Kirovo-Chepetsk in industrial (sodium ions, chloride, and sulfate ions) and park (calcium ions and nitrate ions) zones. In addition, in most soil samples the content of mobile forms of manganese exceeded the MPC.

The effect of soil extracts on the root length of 3-day radish seedlings of the species Zhara and dehydrogenase activity of the algologically pure culture of the CB *Nostoc paludosum* No. 18 was studied. The results of biotesting were quite contradictory. Using such a morphometric indicator as length of radish roots a biotest function showed the effect of stimulation. Probably, the effect of heavy metals (HM) in the experimental samples of soil could be leveled by the large content of nutrients for biotest organisms (nitrate ions, potassium ions, calcium, ammonium ions).

At the same time, CB cells in some samples were sensitive to action of substances contained in the soil extract. An explicit differential response of the oxidation-reduction enzyme of CB dehydrogenase was revealed: from its absence to a strong suppression of the enzyme activity (for samples containing elevated amounts of HM and inorganic ions).

Comparison of the data of biotesting with the data of chemical analysis allows to make a conclusion about the effectiveness of using CB as a test organism. However, using a test function such as root length of 3-day radish seedlings was not effective. Therefore, for phytotesting the state of urbanisms, a more careful selection of higher plants is required, taking into account their species, age, exposure time, etc.

Keywords: urbanozymes, toxicity, biotesting, radish, cyanobacteria, tetrazol-topographic method, content of heavy metals, ionic composition.

В настоящее время использование термина «почва», как естественно-исторического органоминерального тела, для территории любого города становится практически не применимым. Естественные ненарушенные почвы остались лишь в виде «островков» в городских лесах и лесопарках. На территории городов формируются специфические образования – урбанозёмы, которые отличаются от естественных почв как структурой, так и выполняемыми функциями [1]. Строительство различных предприятий, увеличение протяжённости авто- и железных дорог, применение противогололёдных реагентов, действие атмосферных осадков и сточных вод приводят к увеличению антропогенной нагрузки на почвенный покров городов [2]. Урбанозёмы характеризуются неоднородностью, смешением горизонтов и значительной степенью загрязнения промышленными, автотранспортными выбросами, а также бытовым и строительным мусором.

Наиболее загрязнены тяжёлыми металлами (ТМ) почвы вблизи крупных автодорог, а также промышленных предприятий (транспортная и промышленная зоны). Менее загрязнённые участки на территории городов встречаются в парках, лесопарках и на дворовых территориях (парковая и селитебная зоны) [1, 3]. Городские почвы являются накопителями всех видов поллютантов, поэтому, наряду с химико-аналитическими исследованиями, для более полного экологического мониторинга необходимо проводить биотестирование урбанозёмов с использованием тест-организмов различной систематической принадлежности.

В связи с этим целью данной работы было проведение химического анализа городских почв с различной антропогенной нагрузкой (г. Кирово-Чепецк и г. Слободской) и сопоставление полученных данных с результатами биотестирования, проведённого с использованием тест-организмов разной систематической принадлежности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были почвы наиболее крупных районных центров Кировской области г. Кирово-Чепецк и г. Слободской, отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: промышленная, транспортная, селитебная и парковая зоны, с различной удалённостью друг от друга (рис. 1, 2). Отбор проб проводили в августе 2015 г. на участках г. Кирово-Чепецка, расположенных в транс-

портной (1), селитебной (2), промышленной (6) и парковой зонах (7); г. Слободского в транспортной (8), селитебной (3), промышленной (5) и парковой зонах (4).

Отбор образцов производили на соответствующих территориях из верхних горизонтов почвы с глубины 0–10 см. Дополнительно для исследования с каждой указанной территории были отобраны образцы почв с поверхностными разрастаниями водорослей и цианобактерий (ЦБ).

В ходе химического анализа почв определяли кислотность солевой вытяжки потенциометрическим методом [4], содержание подвижного фосфора – методом Кирсанова в модификации ЦИНАО [5] и нитратного азота – методом ЦИНАО [6]. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии определяли содержание подвижных форм ТМ, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером [7]. Кроме того, проводили измерение электропроводности кондуктометрическим методом и концентрации неорганических ионов в почвенной вытяжке (соотношение почва : дистиллированная вода равно 1:4) методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер». Для биотестирования почвенной вытяжки в качестве тест-организмов использовали как макро-, так и микроорганизмы. В первом случае использовали проростки редиса *Raphanus sativus* сорта Жара. Проверяемой тест-функцией служила длина корня и эффект торможения/стимуляции. Для определения степени токсичности проб почвенной вытяжки измеряли среднюю длину корня 3-х дневных проростков редиса. Эффект торможения/стимуляции (Е) рассчитывали по формуле:

$$E = (D_k - D_o) / D_k \cdot 100\%,$$

где D_k и D_o – длина корня в контроле и в опытных вариантах [8].

Во втором случае тест-организмом служила альгологически чистая культура ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. В качестве тест-функции выбрали определение активности дегидрогеназы тетразолюно-топографическим методом с дифференцировкой клеток на живые и нежизнеспособные [9]. Для этого гомогенизированную культуру ЦБ после отмывания водой выдерживали 3 часа в 0,075% растворе трифенилтетразолий хлорида (ТТХ). За этот период бесцветный ТТХ, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформаза, имеющий малиновую или красную окраску. Чтобы определить

соотношение жизнеспособных и неживых клеток в культуре, готовили мазки на предметных стеклах (по 9 мазков на каждый вариант опыта) и с помощью иммерсионного микроскопа просчитывали жизнеспособность не менее 500 клеток в каждой повторности.

В качестве контроля для биотестирования использовали артезианскую воду «Ключ здоровья».

Результаты и их обсуждение

Значения обменной кислотности у почвенных образцов изменялись в пределах от 6,6 до 7,1, что соответствует нейтральной реакции среды (табл. 1).

Содержание нитратного азота и подвижного фосфора в почвах сильно варьировало. В почвенных образцах участков №№ 5 и 8 нитратный азот и подвижный фосфор используемыми методами анализа не были обнаружены. Образцы участков №№ 2–4 характеризовались очень низким уровнем обеспеченности (< 10 мг/кг), образец участка № 1 – средним уровнем (15–20 мг/кг), образцы участков

№ 6–7 – высоким уровнем обеспеченности для растений (> 20 мг/кг).

В образце участка № 6 содержание подвижного фосфора соответствовало очень низкому уровню обеспеченности (< 25 мг/кг), №№ 1 и 4 – среднему (51–100 мг/кг), №№ 2, 3 и 7 – высокому уровню обеспеченности для растений.

В ходе химического анализа установлено, что превышение содержания марганца в изучаемых пробах характерно как для почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке, так и для почв г. Слободской, исключение составили участок у автодороги г. Кирово-Чепецк (№ 1) и в парковой зоне г. Слободской (№ 4). Вероятно, повышенное содержание подвижного марганца в почве обусловлено высокой влажностью почвы, преобладанием восстановительных процессов в почве и вследствие этого переходом марганца в двухвалентное состояние.

Небольшое превышение уровня ПДК по цинку обнаружено в почве промышленной зоны г. Кирово-Чепецк (№ 6) и транспортной зоны г. Слободской (№ 8). Содержание подвижных форм свинца в 5 раз выше ПДК

Таблица 1

Показатель кислотности, содержание нитратов и подвижного фосфора в почвах

№ участка	pH _{ксл} *	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг
1	6,9	15,2±1,5	59±18
2	6,9	6,2±0,6	230±50
3	7,0	1,5±0,5	230±50
4	7,0	2,1±0,6	53±16
5	7,1	н.о.	н.о.
6	7,0	22,5±2,3	18±6
7	6,6	34,2±3,4	175±35
8	7,1	н.о.	н.о.

Примечание: * измерения кислотности выполнены с отклонением результатов повторных измерений от среднего арифметического не более 0,1 ед. рН, н.о. – ниже предела обнаружения используемого метода.

Таблица 2

Содержание подвижных форм ТМ в почве, мг/кг

№ участка	Железо	Кобальт	Цинк	Марганец	Медь	Свинец	Кадмий	Никель
1	5,3±0,7	1,30±0,18	14,0±2,3	88±10	1,44±0,17	2,36±0,25	0,135±0,021	0,28±0,06
2	н.о.	0,72±0,15	6,4±1,1	143±16	0,50±0,07	1,67±0,18	0,130±0,020	0,130±0,028
3	29,8±3,7	0,89±0,19	11,5±1,9	110±13	0,72±0,08	33,4±3,5	0,040±0,006	0,34±0,07
4	21,7±2,7	0,76±0,16	12,7±2,1	81±9	0,84±0,10	5,6±0,6	0,44±0,07	0,46±0,10
5	56±7	0,84±0,18	19,0±3,1	154±18	1,66±0,19	3,62±0,38	0,070±0,011	1,12±0,16
6	35±4	1,08±0,15	27±4	123±14	2,21±0,25	2,39±0,25	0,050±0,008	1,67±0,23
7	35±4	0,59±0,12	4,7±0,8	132±15	0,76±0,09	1,17±0,12	0,050±0,008	0,56±0,12
8	7,4±0,9	н.о.	27±4	244±28	1,10±0,13	4,3±0,5	0,115±0,018	0,57±0,12
ПДК	1000	5	23	100	3	6	0,2	4

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК, н.о. – ниже предела обнаружения метода.

Таблица 3

Содержание подвижных форм ТМ в почве с поверхностными цианобактериальными разрастаниями, мг/кг

№ участка	Кадмий	Свинец	Медь
1	0,30±0,10	11,2±3,0	0,74±0,20
2	но	1,9±0,6	0,84±0,24
3	но	1,8±0,7	0,48±0,14
4	но	0,38±0,15	1,2±0,4
5	1,06±0,31	0,60±0,21	0,72±0,21
6	0,62±0,12	2,2±0,7	2,8±0,8
7	0,020±0,006	0,19±0,08	0,65±0,21
8	но	0,54±0,22	0,15±0,05
ПДК	0,2	6	3

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК, н.о. – ниже предела обнаружения метода.

Таблица 4

Электропроводность (мкСм/см) и концентрация неорганических ионов (мг/л) в почвенной вытяжке 1:4

№ участка	Э	pH*	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻
1	200±15	7,4	4,15±0,6	1,34±0,13	3,8±0,6	2,6±0,5	40±4	1,75±0,17	26,8±2,8	14,4±1,4	н.о.
2	166±13	7,3	1,96±0,29	2,00±0,20	5,5±0,8	2,2±0,4	29,8±3,0	0,71±0,07	6,9±1,0	3,16±0,32	1,2±0,12
3	150±11	6,9	11,4±1,7	н.о.	4,3±0,7	2,7±0,5	22,2±2,2	3,24±0,32	0,25±0,04	7,0±0,7	н.о.
4	243±18	7,0	5,5±0,8	н.о.	6,9±1,0	2,7±0,5	48±5	2,80±0,28	6,5±1,0	20,6±2,1	н.о.
5	160±12	7,6	5,0±0,8	2,14±0,21	5,0±0,8	2,8±0,6	26,0±2,6	2,42±0,24	0,67±0,1	11,7±1,2	н.о.
6	1050±50	7,6	225±34	н.о.	4,4±0,7	4,3±0,4	28,1±2,8	209±21	44±7	45±4	1,4±0,14
7	476±24	7,4	7,7±1,2	2,14±0,21	8,0±1,2	5,0±0,5	72±7	6,0±0,6	144±22	24,6±2,5	н.о.
8	274±21	7,7	10,2±1,5	н.о.	6,7±1,0	4,8±0,5	46±5	1,45±0,14	0,39±0,06	19,1±1,9	н.о.

Примечание: Э – электропроводность, жирным шрифтом выделены максимальные значения, н.о. – ниже предела обнаружения метода; * – измерения кислотности выполнены с отклонением не более 0,1 ед. pH.

определено в почве дворовой территории г. Слободского (№ 3), что может быть связано с близостью расположения стоянки автотранспорта. В целом, при анализе содержания подвижных форм ТМ в исследуемых образцах почв нет значительного превышения уровня ПДК (табл. 2).

При сравнительном анализе исследуемых зон г. Кирово-Чепецк и г. Слободской можно отметить, что содержание подвижных форм большинства ТМ находится примерно на одном уровне. Однако, для урбанозёмов г. Слободского обнаружено несколько большее содержание подвижных форм свинца, кадмия и цинка по сравнению с г. Кирово-Чепецк.

Естественным барьером проникновения ТМ в глубинные слои почвы могут служить поверхностные цианобактериальные разрастания в связи с тем, что они обладают высокой сорбционной способностью по отношению к ТМ [3]. При анализе проб с цианобактериальными разрастаниями было выявлено не-

большое превышение уровня ПДК кадмия в исследуемых образцах почвы. Вероятно, ЦБ аккумулируют ионы ТМ в своей биомассе.

О различной автотранспортной нагрузке исследуемых городов свидетельствует содержание подвижных форм свинца в почве с цианобактериальными разрастаниями. В транспортной зоне г. Кирово-Чепецка (№ 1) почва содержала свинца в 2 раза больше ПДК и в 21 раз больше, чем в транспортной зоне г. Слободской (№ 8) (табл. 3). По содержанию подвижных форм кадмия установлено превышение ПДК как в промышленной зоне г. Кирово-Чепецка (№ 6), так и г. Слободского (№ 5).

Электропроводность почвенных вытяжек служит показателем общего содержания ионов. Для исследуемых почвенных вытяжек этот показатель варьировал от 48 до 1050 мкСм/см (табл. 4). Наибольшие значения электропроводности установлены для образцов участков № 6 и № 7. По показателю кислотности нейтральными оказались вытяж-

Таблица 5

Влияние почвенной вытяжки на длину корня редиса

№ участка	Длина корня редиса, см	Эффект торможения/стимуляции
1	10,0±1,1*	1,6
2	9,7±0,9*	1,6
3	9,6±1,0*	1,5
4	7,7±0,8*	1,2
5	10,0±0,8*	1,6
6	9,0±0,8*	1,4
7	7,1±0,6	1,1
8	9,4±0,8*	1,5
Контроль	6,3±0,6	–

Примечание: в таблице приведены средние арифметические значения и ошибки средних; * – различия средних с контролем достоверны при $p \leq 0,001$.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между содержанием ионов ТМ и длиной корня редиса

Co	Mn	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Ni
0,34	0,47	0,58	0,56	-0,69	0,26	-0,06	0,27

Таблица 7

Жизнеспособность клеток цианобактерий исследуемых почв

№ участка	Жизнеспособность (ЖСП) клеток ЦБ, %	
	ЖСП	НеЖСП
1	98	2
2	90	10
3	96	4
4	85	15
5	84	16
6	85	15
7	92	8
8	82	18
Контроль	98	2

ки из образцов участков №№ 3 и 4, остальные вытяжки имели слабощелочную реакцию среды.

Изучение ионного состава почвенных вытяжек, используемых для биотестирования, показало, что большинство наибольших значений концентрации неорганических ионов характерно для промышленной зоны г. Кирово-Чепецка (№ 6). Это ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы, концентрация которых была существенно выше, чем в других исследуемых образцах. Максимальным было содержание ионов кальция и нитрат-ионов в почвенной вытяжке участка № 7, отобранного в парковой зоне г. Кирово-Чепецка. Стоит отметить, что ионы калия, аммония, кальция, нитрат-ионы служат источником питания растений и ЦБ. Поэтому их повышенное содержание в почвенной вытяжке может стимулировать рост и процессы жизнедеятельности выделенных тест-организмов.

Биотестирование с использованием семян редиса не выявило эффекта торможения ни в одном из образцов почвы, отобранных на участках с различной антропогенной нагрузкой (табл. 5). Более того, во всех исследованных образцах, за исключением участка № 7, длина корня 3-х дневных проростков редиса была достоверно выше, чем в контрольном варианте.

В целом, при использовании в качестве биотеста проростков редиса негативного влияния почвенных вытяжек на морфометрические параметры не выявлено, что подтверждается отсутствием корреляционной связи между содержанием ионов ТМ в почвенных вытяжках и длиной корня редиса. Максимальный коэффициент корреляции, характерный для цинка, меди, железа соответствует среднему уровню (табл. 6).

Отсутствие сильного токсичного эффекта почвенных вытяжек подтверждается ре-

зультатами биотестирования с использованием клеток ЦБ. Максимальное снижение уровня жизнеспособных клеток было обнаружено при тестировании почвенных образцов транспортной (№ 8), промышленной (№ 5) и парковой (№ 4) зон г. Слободского, а также промышленной зоны г. Кирово-Чепецка (№ 6), в которых процент погибших клеток колебался от 15 до 18% (табл. 7). Полное отсутствие токсического эффекта выявлено для участка № 1, где количество жизнеспособных клеток аналогично контрольному варианту. Незначительное снижение жизнеспособности клеток *Nostoc paludosum* (от 4 до 10%) зарегистрировано на участках №№ 3, 7 и 2.

Заключение

Объектами исследования были почвы г. Кирово-Чепецк и г. Слободской (Кировская область), отобранные на территориях с различной антропогенной нагрузкой: в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах. Оценка степени токсичности отобранных образцов проводилась методами химического анализа и биотестирования с использованием высшего растения и ЦБ.

В ходе проведённого исследования установлено, что в почвенных образцах, отобранных в промышленной, транспортной, селитебной и парковой зонах г. Кирово-Чепецка и г. Слободской, отмечается повышенное относительно ПДК содержание ионов марганца. Небольшое превышение уровня ПДК по свинцу в некоторых образцах, объясняется местом отбора проб. Участки, где было обнаружено превышение ПДК по содержанию данного металла, находятся в непосредственной близости от автодорог, которые являются основным источником загрязнения соединениями свинца. По другим исследуемым ТМ не отмечали превышения ПДК.

Хроматографический анализ почвенных вытяжек показал, что максимальным содержанием ионов отличались вытяжки из проб почв, отобранных в г. Кирово-Чепецке в промышленной (ионы натрия, хлорид- и сульфат-ионы) и парковой (ионы кальция и нитрат-ионы) зонах.

Изучено влияние почвенных вытяжек на длину корней 3-х дневных проростков редиса сорта Жара и активность дегидрогеназы альгологически чистой культуры ЦБ *Nostoc paludosum* № 18. Результаты биотестирования оказались достаточно противоречивыми. Использование в качестве биотест-функции та-

кого морфометрического показателя как длина корней редиса показало эффект стимуляции. Вероятно, действие ТМ в опытных образцах почвы могло нивелироваться большим содержанием элементов питания для биотест-организмов (нитрат-ионы, ионы калия, кальция, ионы аммония).

В то же время клетки ЦБ в некоторых образцах оказались чувствительными к действию веществ, содержащихся в почвенной вытяжке. Выявлен явный дифференцированный ответ окислительно-восстановительного фермента ЦБ дегидрогеназы: от отсутствия ингибирования до сильного подавления активности фермента (для образцов, содержащих повышенные количества ТМ и неорганических ионов).

Сопоставление данных биотестирования с данными химического анализа позволяет сделать вывод об эффективности использования в качестве тест-организма ЦБ. Однако, использование такой тест-функции, как длина корней 3-х дневных проростков редиса было не эффективно. Поэтому для фитотестирования состояния урбаноэмов требуется более тщательный подбор высших растений с учётом их вида, возраста, время экспозиции и др.

Литература

1. Особенности урбэко систем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. 282 с.
2. Трояновская Е.С., Абросимова О.В., Тихомирова Е.И. Оценка состояния почв городских территорий методом комплексного биотестирования // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 2. С. 32–36.
3. Зыкова Ю.Н. Комплексы водорослей, цианобактерий и грибов городских почв и их реакции на действие поллютантов: Автореф. ... канд. биол. наук. М., 2013. 22 с.
4. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.
5. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 7 с.
6. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 1985. 4 с.
7. ФР.1.31.2007.03683. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 13 с.
8. Биотест-системы для задач экологического контроля: Методические рекомендации по практичес-

кому использованию стандартизованных тест-культур / Под ред. В.А. Тереховой и др. М.: Доброе слово, 2014. 48 с.

9. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И., Ашихмина Т.Я. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

References

1. Features of urboecosystems of the subzone of southern taiga of the European North-East / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. 282 p. (in Russian).

2. Troyanovskaya E.S., Abrosimova O.V., Tikhomirova E.I. Assessment of the state of soils in urban areas by the method of complex biotesting // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2011. No. 2. P. 32–36 (in Russian).

3. Zyкова Yu.N. Complexes of algae, cyanobacteria and fungi of urban soils and their reaction to the action of pollutants: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Moskva. 2013. 22 p. (in Russian).

4. GOST 26483-85. Preparation of salt extract and determination of its pH according to the method of CINAО. Moskva: USSR State Committee for Standards, 1985. 5 p. (in Russian).

5. GOST R 54650-2011. Soil. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the method of Kirsanov in the modification of CINAО. Moskva: Standardinform, 2013. 7 p. (in Russian).

6. GOST 26488-85. Soil. Determination of nitrates by the method of CINAО. Moskva: Standardinform, 1985. 4 p. (in Russian).

7. FR.1.31.2007.03683. Method of measurement of mass fractions of toxic metals in samples of natural, drinking, and waste water by atomic absorption method. Moskva, 2007. 13 p. (in Russian).

8. Biotest-systems for environmental control tasks: Methodological recommendations on the practical use of standardized test cultures / Eds. V.A. Terekhova et al. Moskva: Dobroye slovo, 2014. 48 p. (in Russian).

9. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Fokina A.I., Ashikhmina T.Ya. The use of a tetrazol-topographic method for determining dehydrogenase activity of cyanobacteria in contaminated media // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2008. No. 2. P. 23–28 (in Russian).

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», проводимой в рамках Года экологии в Российской Федерации, которая будет проходить в г. Кирове 4–6 декабря 2017 г.

Конференцию организуют и проводят Институт химии и экологии Вятского государственного университета и лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета.

Тематика и основные направления работы конференции:

1. Биологический мониторинг природных и техногенных систем.
2. Методы биодиагностики в оценке качества окружающей среды.
3. Экология растений и животных и их значение в оценке состояния окружающей среды.
4. Экология микроорганизмов и их значение в оценке состояния окружающей среды.
5. Химия и экология почв.
6. Здоровье человека как индикатор состояния окружающей среды.
7. Социальная экология, экологическое образование и культура.

Контактные адреса и телефоны:

610002, г. Киров, ул. Ленина, 113, Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ, телефон/факс (8332) 37-02-77, e-mail: ecolab2@gmail.com. Ученый секретарь оргкомитета – Домнина Елена Александровна
Технический секретарь – Кардакова Евгения Михайловна

Полициклические ароматические углеводороды
в *Pleurozium schreberi* в условиях аэротехногенного воздействия

© 2017. Е. В. Яковлева, к. б. н., н. с., Д. Н. Габов, к. б. н., с. н. с.,
В. А. Безносиков, д. с.-х. н., зав. лабораторией,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: kaleeva@ib komisc.ru

С использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме проведено комплексное изучение качественного и количественного состава полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на поверхности и в тканях мха *P. schreberi* Brid. фонового участка в сравнении с удалённым участком в 5 км от шахты Воркутинская, и в непосредственной близости от угледобывающего предприятия на расстояниях 0,5; 1 и 1,5 км от шахты, с учётом розы ветров. Во мхе выявлено присутствие 13 структур полиаренов. Показано, что ПАУ на поверхности и в тканях мха представлены преимущественно лёгкими углеводородами, на фоновом участке основным компонентом в суммарном содержании ПАУ был фенантрен, на удалённом и загрязнённых участках – нафталин. На удалённом участке и в зоне действия угледобывающего предприятия выявлено значительное превышение фонового содержания, как для поверхностного, так и для внутреннего накопления ПАУ. Аккумуляция ПАУ в тканях происходила более интенсивно, чем на поверхности. Показана чётко выраженная тенденция к снижению содержания полиаренов с удалением от шахты. Резкий спад поверхностного накопления отмечен уже на участке в 1 км от источника, снижение внутреннего содержания более ярко выражено в 1,5 км от предприятия. Установлено, что вклад поверхностного загрязнения в суммарное содержание ПАУ снижается от фонового и удалённого участков к загрязнённым. Предположительно процесс аккумуляции интенсифицируется при значительном попадании на поверхность мха тяжёлых структур ПАУ. Состав ПАУ отмершей и живой части *P. schreberi* идентичны, отличия в накоплении ПАУ незначительны. Выявлена тенденция к преимущественному накоплению полиаренов в отмершей части мха. *P. schreberi* в силу своей широкой распространённости и способности к активной аккумуляции ПАУ может быть использован в целях биоиндикации уровня загрязнения в зонах действия угледобывающей промышленности.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, мох, поверхностное накопление, биоаккумуляция, угледобывающая промышленность.

Polycyclic aromatic hydrocarbons in *Pleurozium schreberi*
under the aerotechnogenic impact

E. V. Yakovleva, D. N. Gabov, V. A. Beznosikov,
Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,
e-mail: kaleeva@ib komisc.ru

Using high performance liquid chromatography in a gradient mode, a complex research of qualitative and quantitative polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) composition was conducted at the surface and in the tissues of moss *Pleurozium schreberi* Brid. at the control site in comparison with site 5 km from the “Vorkutinskaya” coal mine and at the sites situated 0.5; 1 and 1.5 km from the mine, taking into account wind rose. 13 PAHs were found in the moss. PAHs at the surface and in the tissues were presented mainly by light polyarenes. Phenanthrene was the main component of the total PAHs at the control site; naphthalene – at the remote and contaminated sites. We revealed significant excess of both surface and tissue PAHs against the background values at the remote site and the sites under contamination. Tissue accumulation of PAH was more active than surface accumulation. PAH content demonstrates a clear downward trend increasing the distance from the mine. The surface accumulation sharply reduces at the site 1 km from the mine. The cell accumulation is clearer at the site 1.5 km from the mine. Contribution of the surface contamination to the total PAHs decreases in the line from the control and remote sites to the contaminated ones. We suppose that PAH accumulation increases when the high molecular PAHs fall on the moss surface more intensive. PAH profiles of living and dead part of *P. schreberi* are identical and differences in PAH accumulation are insignificant. There is a tendency to prevalent PAH accumulation in the dead part of the moss. *P. schreberi*, due to its wide distribution and active PAH accumulation, can be used in bioindication of areas affected by coal mining industry.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons, moss, surface accumulation, bioaccumulation, coal-mining industry.

В последние годы большое внимание уделяется экологическим исследованиям наиболее уязвимых и неустойчивых экосистем, таких как тундровые биоценозы. В тундровой зоне Европейского северо-востока России хорошо развита угледобывающая промышленность. Угольные шахты создают зоны аэротехногенного загрязнения. В состав аэрозольных выбросов шахт входят тяжёлые металлы и различные органические вещества, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Полиарены характеризуются повышенной канцерогенной, мутагенной, токсичной активностью и значительной мобильностью. ПАУ распространены повсеместно. Загрязнение почв полиаренами, хотя и незначительное, было выявлено даже в Антарктиде [4]. ПАУ из атмосферы попадают на поверхность растений, активно аккумулируясь в них, они в дальнейшем мигрируют и накапливаются по всей пищевой цепи. Ряд модельных экспериментов позволил установить негативное влияние повышенных доз бенз[а]пирена, внесённых в субстрат или воду, на всхожесть семян и ростовые процессы растений разных видов [2, 3]. В ходе исследования здоровья новорожденных детей в зоне действия угольных шахт установлено, что развитие угольной промышленности приводит к дефектам развития нервной трубки плода, что, по мнению авторов, связано с повышенным содержанием полиаренов в каменном угле [4]. В связи с этим изучение накопления ПАУ в растениях является актуальной задачей современных научных исследований.

Разные виды мхов часто используются в качестве биомониторов содержания тяжёлых металлов и органических загрязнителей, в том числе ПАУ, в природных экосистемах [5, 6]. Для контроля загрязнения территории нефтеносных песков Аттабаска использовали сфагновые мхи. Исследователями было установлено, что основным источником ПАУ в данном регионе служит нефтекокс, максимальные уровни загрязнения для мха составляли 200 нг/г [7]. В мониторинговых исследованиях загрязнения местности Кампания (южная Италия) был использован мох *Hypnum cupressiforme*. Мох специально размещали в 40 разных городских и сельскохозяйственных районах и отслеживали содержание Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Se, Zn и ПАУ (на пяти участках). Содержание ПАУ во мхах возрастало на 20–50% относительно первоначальных значений. Авторы показали, что уровни техногенной нагрузки в исследованной мест-

ности были довольно высоки, и поглощение ПАУ мхом не зависело от точки размещения [5]. Сходные исследования были проведены в Неаполе и Лондоне с использованием мхов *Sphagnum capillifolium* (Ehrh.) Hedw. и *H. cupressiforme* Hedw. Было установлено, что *S. capillifolium* отличается большей способностью к биоаккумуляции ПАУ и тяжёлых металлов [8]. Исследования *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* в районах Южной и центральной Польши позволили выявить, что *H. splendens* в большей мере накапливал ПАУ, чем *P. schreberi*. Основными источниками ПАУ были выбросы автотранспорта, а также бытовое и промышленное сжигание угля. ПАУ во мхах были в большей степени представлены четырёхкольчатыми структурами, затем их содержание снижалось в ряду трёх > пяти > шестиядерные. Авторы отмечают большое влияние на аккумуляцию ПАУ во мхах топографических особенностей и метеорологических факторов (осадков, инсоляции и температуры) [9].

Исследования накопления полиаренов в *H. splendens* удалённых районов северной Испании позволили выявить сезонные изменения в содержании ПАУ во мхах, согласующиеся с сезонностью выбросов ПАУ в атмосферу. Было выявлено, что содержание ПАУ во мхе тесно коррелировало с их растворимостью и липофильными свойствами [10].

Результаты исследования накопления ПАУ в *P. schreberi* в Национальных парках Аляски (тундровая зона в горных областях) показали повышенную биоаккумуляцию как лёгких, так и тяжёлых полиаренов. Суммарные значения накопления ПАУ *P. schreberi* колебались от десятков до тысяч нг/г на разных участках одного региона. Мох характеризовался повышенным накоплением фенантрена по сравнению с другими ПАУ [11].

Основным источником ПАУ во мхах, по мнению многих авторов, является атмосферное поступление. В работе [12] показано, что концентраций ПАУ во мхах значительно коррелировали с концентрациями полиаренов в твёрдых атмосферных примесях диаметром ниже 10 мкм.

Механизмы поглощения ПАУ мхами мало исследованы, вероятно, имеет место механическое проникновение полиаренов в ткани растений через поры. Благодаря своей липофильности, ПАУ могут проникать в клетки растений, или концентрироваться в межклеточном пространстве. Вследствие липофильности молекулы, ПАУ могут накапливаться в липид-

ном слое мембран растений, главным образом, в процессе их осаждения из атмосферы на поверхность. В виде растворимых в воде производных ПАУ достигают клеточной мембраны и вызывают нарушения её интактности и увеличение проницаемости. Предполагается, что действие экстремальных факторов, таких как ПАУ, ведёт к нарушению функций мембран и их структуры [13].

Наши исследования показали, что в *P. schreberi* сосредоточена основная массовая доля ПАУ среди растений нижнего яруса кустарниковой тундровой зоны. Его вклад в потребление ПАУ составлял 70–80% от суммарного накопления [14]. Широкая распространённость данного вида мха, наряду с его способностью к активной аккумуляции полиаренов делает его интересным объектом для исследования.

По нашему мнению, сравнительный анализ поверхностного накопления и содержания ПАУ в тканях *P. schreberi*, наряду с анализом накопления в живой и отмершей части растения позволит выявить основные закономерности в накоплении ПАУ мхом в условиях аэротехногенного воздействия. Сравнение аккумуляции ПАУ на фоновом, удалённом участке и участках на разном расстоянии от шахты «Воркутинская» позволит оценить дальность распространения разных групп полиаренов в условиях тундры.

Целью данного исследования было изучение накопления полиаренов на поверхности и в тканях *P. schreberi* в зоне действия угольной шахты закрытого типа в сравнении с удалённым и фоновым участками.

Материалы и методы

Проведены исследования содержания ПАУ во мхе *P. schreberi* Brid. на фоновом участке в 6 км от ст. Хановой (30 км от г. Воркута), на удалённом участке в 5 км от шахты Воркутинская и в непосредственной близости от шахты на расстояниях 0,5; 1 и 1,5 км, с учётом розы ветров в северо-восточном направлении. Отбор проб был проведён в трёхкратной повторности. Пробы растений высушивали. Для определения полного содержания ПАУ в растениях пробы измельчали, для определения поверхностного накопления использовали нерастёртые образцы. Внутреннее содержание ПАУ во мхе определяли по разности между общим содержанием и поверхностным накоплением. Живую и отмершую часть мха анализировали отдельно.

Территория исследования представляет собой полого-увалистую равнину, сложенную сильно дислоцированными палеозойскими породами, перекрытыми толщей наносов ледникового происхождения. Почвообразующие породы – покровные пылеватые суглинки мощностью менее 10 м, подстилаемые мореной [16]. Район исследования относится к умеренно континентальной атлантико-арктической климатической области воркутинского климатического района, характеризуется суровой зимой и относительно прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха по метеостанции г. Воркута: -5,8 °С. Среднегодовое количество осадков – 550–600 мм [15]. Исследования проведены в южной полосе подзоны южных гипоарктических тундр. Зональный тип сообществ в данном районе – кустарниковые тундры. Характерной чертой растительного покрова является мозаичность, быстрая пространственная смена растительных группировок [16].

В районе исследования распространены тундровые поверхностно глеевые, торфянисто- и торфяно-тундровые глеевые почвы. Их морфологические особенности – наличие поверхностной торфяной подстилки (10–30 см) и чётко выраженного глеевого тиксотропного горизонта. Верхняя граница многолетней мерзлоты, служащая водупором, залегает на глубине 55–80 см. Иллювиальная толща малой мощности, почвенный профиль слабо дифференцирован. Деформация почвенного профиля вызвана перемещением насыщенных влагой почвогрунтов при оттаивании и замерзании. Почвы характеризуются замедленным биологическим круговоротом и низкой биологической продуктивностью. Органогенные горизонты, верхняя часть иллювиальной и криогенной зон являются геохимическими барьерами. Почвы обладают кислой реакцией среды. Гранулометрический состав – тяжёлый суглинок [17].

Химико-аналитические исследования почв и растений выполняли в ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. При подготовке проб растений к химическому анализу поверхностного загрязнения использовали оригинальную методику, описанную А.Г. Горшковым [18]. Для полного извлечения ПАУ из растений использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Dionex Corporation, США). Пробу растения массой 1 г помещали в экстракционную ячейку и трижды экстрагировали смесью хлористый метилен: ацетон

(1:1) при температуре 100 °С. Затем экстракты концентрировали с применением аппарата Кудерна-Даниша при температуре в термостате 70 °С и заменяли растворитель на гексан. Полученный концентрат пробы объёмом 3 см³, очищали от неорганических примесей методом колоночной хроматографии, с использованием оксида алюминия II степени активности по Брокману. В качестве элюэнта использовали 50 см³ смеси гексан:хлористый метилен (4:1). Элюат концентрировали с применением аппарата Кудерна-Даниша при температуре в термостате 85 °С, до объёма 5 см³, затем добавляли 3 см³ ацетонитрила и упаривали при температуре 90 °С до полного удаления гексана. Концентрат пробы в ацетонитриле анализировали на содержание ПАУ методом ВЭЖХ. Контроль точности результатов измерений проводили с использованием стандартного образца Certified reference material BCR-683 (European commission community bureau of reference). Для исследованных выборок с помощью теста Колмогорова-Смирнова установлено нормальное распределение. Статистическую обработку для оценки достоверности расхождений средних данных проводили при помощи t-критерия Стьюдента ($P = 0,95$).

Результаты и обсуждение

На поверхности растений фонового участка идентифицировано 10 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен, бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен (табл. 1). Полиарены на поверхности мха фонового участка представлены главным образом 3,4-ядерными углеводородами. 52% приходится на фенантрен, как правило, считающийся компонентом природного происхождения. Тяжёлые полиарены представлены лишь бенз[к]-флуорантеном и бенз[а]пиреном в минимальных количествах – 2% от общего содержания. Внутри растений также обнаружен бенз[ghi]-перилен, отсутствовавший на поверхности. Основная доля – 65% приходится на лёгкие углеводороды нафталин и фенантрен. Выявление повышенного накопления нафталина в тканях растений, при его отсутствии на поверхности, во многом связано с его сродством и сходством по составу с витаминами и гормонами, что способствует его образованию в растениях и наиболее лёгкому поглощению с поверхности мха. Массовая доля полиаренов на поверхности растений в 5 раз ниже, чем в тканях, такие значения характерны для лёг-

ких углеводов: нафталина, аценафтена, флуорена, антрацена, бенз[а]антрацена, хризена, бенз[а]пирена, для остальных ПАУ они несколько ниже. Содержание флуорантена на поверхности и внутри растений примерно одинаковы. Не выявлено высоких значений коэффициента корреляции содержания ПАУ внутри и на поверхности растения $r=0,59$ (при $n=3$, $P=0,95$), это во многом обусловлено низким содержанием нафталина на поверхности мха, без учёта которого коэффициент достигает $r=0,96$ (при $n=3$, $P=0,95$).

На поверхности растений удалённого участка обнаружено 6 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен. На разном расстоянии от шахты «Воркутинская» выявлено присутствие 12 ПАУ, помимо перечисленных в растении, присутствовали: бенз[а]антрацен, хризен, бенз[b]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен и бенз[ghi]перилен. Поверхностная аккумуляция ПАУ мхом на удалённом участке и в зоне действия шахты отличается от фоновых показателей.

Хотя основная доля ПАУ 17–39% во мхе данных участков, также как и на фоне, приходится на фенантрен, резко возрастает вклад нафталина в поверхностное содержание ПАУ, его вклад составляет 47% на удалённом участке и 12–35%, по мере приближения к шахте от 1,5 до 0,5 км. Это во многом объясняется тем, что нафталин и фенантрен являются основными компонентами угля шахты «Воркутинская».

ПАУ на удалённом участке представлены лишь лёгкими структурами. Вблизи шахты «Воркутинская» в составе ПАУ мха появляются 5, 6-ядерные углеводороды, доля которых возрастает по мере приближения к шахте от 5% (1,5 км от шахты) до 20% (0,5 км от шахты) от общего содержания ПАУ в *P. schreberi*. Сравнение накопления ПАУ на фоновом и загрязнённых участках позволили выявить значительные превышения фоновых концентраций для мха, как для поверхностного, так и для внутреннего содержания. Суммарная массовая доля ПАУ на поверхности растений удалённого участка превышает фоновые значения в 5 раз. Наибольшие кратности превышения характерны для нафталина – в 55 раз, для остальных – не превышают четырёх раз.

В непосредственной близости к шахте Воркутинская наблюдали максимальные кратности превышения фоновых значений поверхностного загрязнения в 6 раз для общего содержания. Из лёгких полиаренов наибольшие кратности превышения характерны для

Таблица 1

Содержание ПАУ на поверхности *Pleurozium schreberi*, нг/г

ПАУ	Фон		Удалённый участок		Расстояние от шахты					
					1,5 км		1 км		0,5 км	
	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$
Нафталин	1,1	0,0	54,6	7,5	6,8	6,7	7,6	6,7	45,3	1,3
Флуорен	3,0	0,2	10,6	1,2	5,8	1,1	5,0	1,1	6,1	0,7
Фенантрен	11,4	1,2	31,1	9,4	19,0	2,4	22,0	2,3	22,2	2,3
Антрацен	0,4	0,0	1,6	0,5	2,2	0,6	2,6	1,0	1,6	0,2
Флуорантен	3,5	0,6	11,0	5,9	5,5	1,2	8,1	0,5	11,2	0,7
Пирен	2,8	1,5	6,2	0,1	8,4	5,7	6,2	1,6	12,1	3,3
Бенз[а]антрацен	0,2	0,1	0,0	0,0	1,0	1,1	0,7	0,2	1,8	0,1
Хризен	0,8	0,6	0,0	0,0	1,6	0,3	1,1	0,2	3,3	0,4
Бенз[в]флуорантен	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	1,6	2,2	4,6	0,8
Бенз[к]флуорантен	0,3	0,2	0,0	0,0	1,0	0,4	0,6	0,2	1,5	0,1
Бенз[а]пирен	0,2	0,2	0,0	0,0	1,1	1,0	0,8	0,1	2,9	1,1
Бенз[ghi]перилен	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3	16,6	2,5
ΣПАУ	23,6	6,1	115,1	11,7	52,6	11,6	57,5	3,8	129,1	10,4

Примечание: \bar{x} – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартное отклонение.

Таблица 2

Содержание ПАУ в тканях *Pleurozium schreberi*, нг/г

ПАУ	Фон		Удалённый участок		Расстояние от шахты					
					1,5 км		1 км		0,5 км	
	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$	\bar{x}	$S\bar{x}$
Нафталин	37,0	4,1	294,9	21,8	489,2	201,7	1141,3	164,4	1328,1	191,5
Флуорен	12,3	7,3	23,9	1,8	40,7	11,1	67,9	4,7	80,7	3,1
Фенантрен	29,6	9,3	145,2	65,3	176,1	39,6	389,5	16,6	431,3	32,8
Антрацен	1,7	0,7	6,2	1,8	9,3	4,0	21,1	4,0	28,7	3,1
Флуорантен	4,0	1,0	24,9	3,3	39,1	16,6	82,1	0,9	127,8	12,7
Пирен	6,4	0,2	27,9	6,2	39,5	3,3	91,8	37,8	136,9	6,0
Бенз[а]антрацен	0,8	0,2	4,8	0,8	5,6	2,3	12,4	0,3	20,0	0,5
Хризен	3,5	0,9	14,3	0,0	22,5	4,3	47,5	2,7	54,6	6,6
Бенз[в]флуорантен	1,0	0,7	14,1	0,4	17,7	4,0	35,7	7,8	45,5	0,5
Бенз[к]флуорантен	0,7	0,3	2,9	0,0	1,7	1,1	4,2	0,4	10,1	1,6
Бенз[а]пирен	1,1	0,2	5,9	0,8	6,2	2,0	11,9	0,6	19,8	0,3
Дибенз[а,h]антрацен	0,0	0,0	1,6	2,3	8,1	1,2	11,5	0,4	7,1	3,5
Бенз[ghi]перилен	3,5	0,6	26,0	2,2	20,5	4,1	45,1	18,7	37,2	4,0
ΣПАУ	101,6	25,3	592,5	102,8	876,2	295,1	1961,9	256,7	2327,8	253,3

Примечание: \bar{x} – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартное отклонение.

нафталина и бенз[а]антрацена – более 12 раз, из тяжёлых для бенз[а]пирена и бенз[ghi]перилена – более 14 раз. На расстояниях в 1,5 и 1 км от угледобывающего предприятия поверхностное накопление ПАУ в 2-3 раза выше по сравнению с фоновым участком, в основном за счёт роста содержания нафталина, антрацена, бенз[а]антрацена и бенз[а]пирена – более 4 раз. На удалении от шахты в 1 км и 1,5 км содержание полиаренов в *P. schreberi* примерно одинаково и в 2 раза ниже, чем на расстоянии 0,5 км. Такое снижение обусловлено уменьшением содержания нафталина в 6 раз и 4, 5, 6-ядерных ПАУ в 2 и более раз с удалением от источника.

В тканях мха на загрязнённых участках выявлено 13 структур полиаренов: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен, бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, дибенз[a,h]антрацен и бенз[ghi]перилен (табл. 2).

На долю нафталина и фенантрена приходится 74–78%, что несколько больше чем на фоновом участке. Массовая доля тяжёлых полиаренов от общей суммы ПАУ в *P. schreberi* составляет 8% для удалённого участка и 5–6% для участков на разном удалении от угледобывающего предприятия, при фоновой доле 7%.

Общее содержание ПАУ во мхе на удалённом участке в 5 раз выше, чем на фоновом. Наибольшие кратности превышения характерны для нафталина, флуорантена, бенз[а]-антрацена, бенз[b]флуорантена, бенз[а]пирена и бенз[ghi]перилена – более 6 раз, для остальных составляют около 4 раз. В зоне действия шахты «Воркутинская» аккумуляция ПАУ в тканях происходит более интенсивно, кратности превышения фоновых значений суммарной массовой доли ПАУ составляют 8–21 раз и возрастают по мере приближения к источнику. Тенденция к увеличению внутреннего содержания ПАУ в 0,5 км от шахты прослеживается для всех исследованных структур. Как и в случае поверхностного загрязнения, наибольшие кратности превышения характерны для нафталина и бенз[а]антрацена, а также для флуорантена и бенз[b]флуорантена – от 10 (1,5 км) до 65 (0,5 км) раз. Для остальных ПАУ кратности варьируют от 5 до 24 раз. Нафталин и флуорен, поступив в значительных количествах на поверхность растений, наиболее интенсивно поглощаются мхом ввиду их большой растворимости в воде.

Следует отметить, что внутренняя аккумуляция ПАУ во мхе на участках в 0,5 и 1 км

характеризуется близкими значениями с незначительным превышением содержания полиаренов в непосредственной близости к предприятию. На расстоянии 1,5 км накопление в 2 раза ниже для суммы ПАУ, для отдельных компонентов до 6 раз ниже.

В общем содержании ПАУ доля поверхностного загрязнения составляет 18% (рис. 1) на фоновом участке, для индивидуальных ПАУ она достигает 47% (рис. 2). На удалённом участке вклад поверхностного накопления составляет около 16% для общего содержания и до 30% для индивидуальных ПАУ. На загрязнённых участках доля поверхностного накопления ниже и варьирует от 7% (1,5 км) от источника до 3–5% вблизи источника (0,5 км). Повышенная доля поверхностного накопления на расстоянии в 1,5 км от шахты характерна для большинства индивидуальных ПАУ, хотя по абсолютным показателям это наименее загрязнённый участок в зоне действия угледобывающего предприятия, как по поверхностному загрязнению, так и по содержанию в тканях мха. По-видимому, у данного вида мха существуют определённые барьеры при поглощении полиаренов: до определённого уровня загрязнения ПАУ проникают внутрь мха в определённых количествах – около 20%. Такой эффект присутствует на фоновом участке с минимальными количествами полиаренов и на удалённом со значительным содержанием лёгких ПАУ.

Предположительно процесс аккумуляции интенсифицируется при значительном попадании на поверхность мха тяжёлых структур ПАУ. При интенсивном аэротехногенном воздействии способность к биоаккумуляции ПАУ усиливается и внутрь растения проникает больше полиаренов. На расстоянии 0,5 км от шахты на поверхность почв и растений выпадает наибольшее количество ПАУ и они активно проникают в ткани мха. На расстоянии 1 км от источника доля атмосферных выпадений снижается в основном за счёт уменьшения массовой доли 4, 6-ядерных структур, которые, по-видимому, распространяются на короткие расстояния по сравнению с более лёгкими ПАУ. Снижение содержания полиаренов в тканях на 1 км участке не столь значительное, как для поверхностного загрязнения, также обусловлено убылью бенз[а]антрацена, хризена, бенз[b]флуорантена, бенз[k]флуорантена и бенз[а]пирена. Отмечено также снижение содержания нафталина на поверхности растений в 1 км от шахты, что, вероятно, связано с интенсификацией его поглощения в ре-

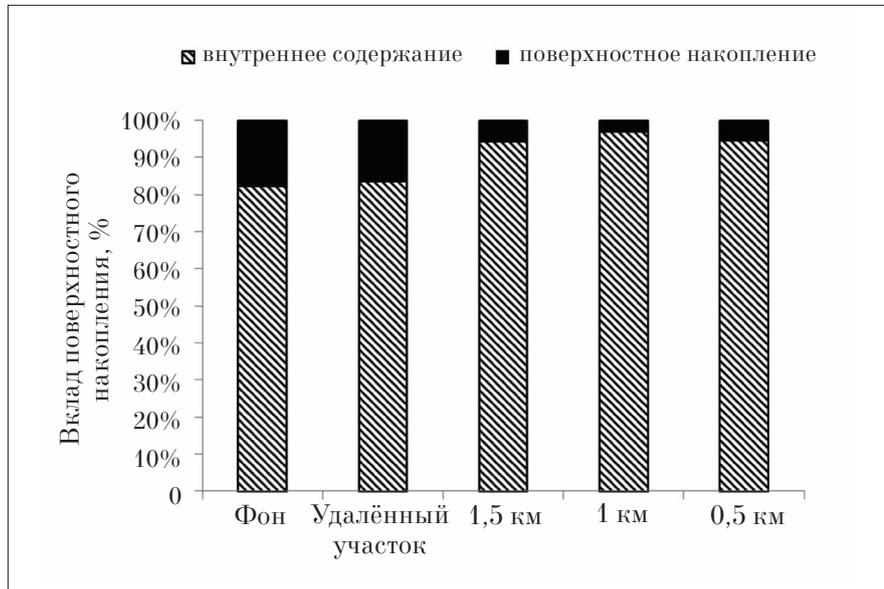


Рис. 1. Вклад поверхностного накопления в общее содержание ПАУ в *Pleurozium schreberi*, %

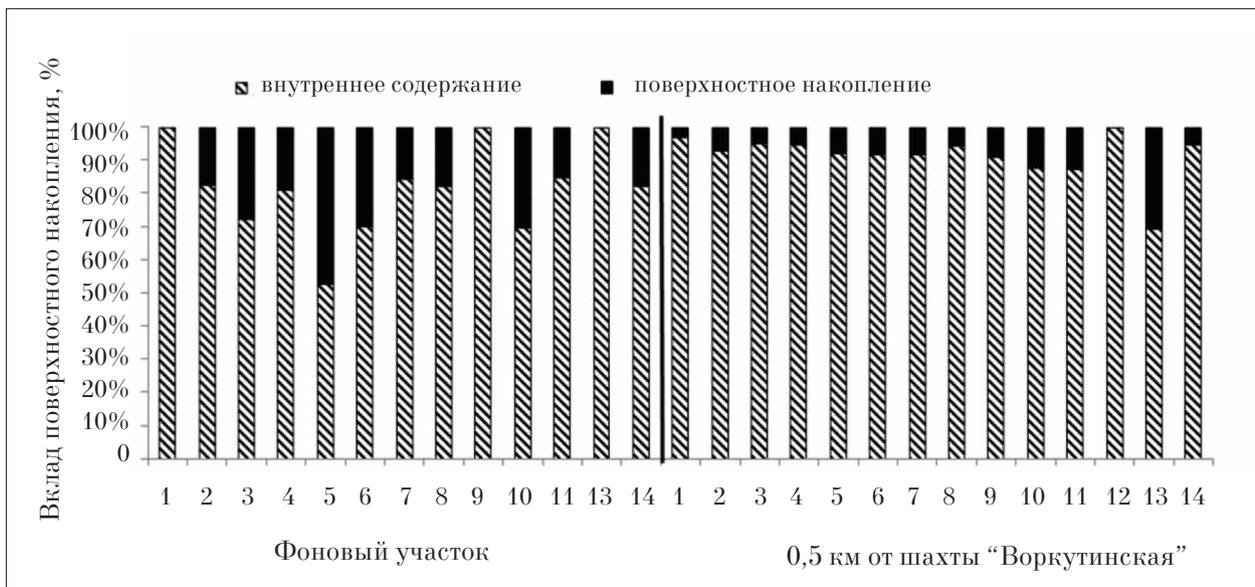


Рис. 2. Вклад поверхностного накопления в общее содержание индивидуальных ПАУ для *Pleurozium schreberi* фонового района и участка в 0,5 км от шахты «Воркутинская», %.

Примечание: 1 – нафталин, 2 – флуорен, 3 – фенантрен, 4 – антрацен, 5 – флуорантен, 6 – пирен, 7 – бенз[а]антрацен, 8 – хризен, 9 – бенз[б]флуорантен, 10 – бенз[к]флуорантен, 11 – бенз[а]пирен, 12 – дибенз[а, h]антрацен, 13 – бенз[ghi]перилен, 14 – ΣПАУ.

зультате уменьшения содержания других полиаренов на поверхности растений. На расстоянии в 1,5 км от угледобывающего предприятия поступление ПАУ из атмосферы должно снижаться по сравнению с расстоянием в 1 км, но этот эффект отражается лишь на содержании ПАУ в тканях мха. Вероятно, снижение поступления на растение приводит к снижению активности процесса биоаккумуляции ПАУ

с поверхности *P. schreberi*, что ведёт к уменьшению внутреннего накопления при сохранении стабильного поверхностного содержания.

Было проведено сравнение накопления полиаренов в живой и отмершей частях мха. Качественный состав ПАУ отмершей и живой части *P. schreberi* идентичны. Наивысшие коэффициенты корреляции выявлены для внутреннего содержания и составляют $Z=0,92$ для

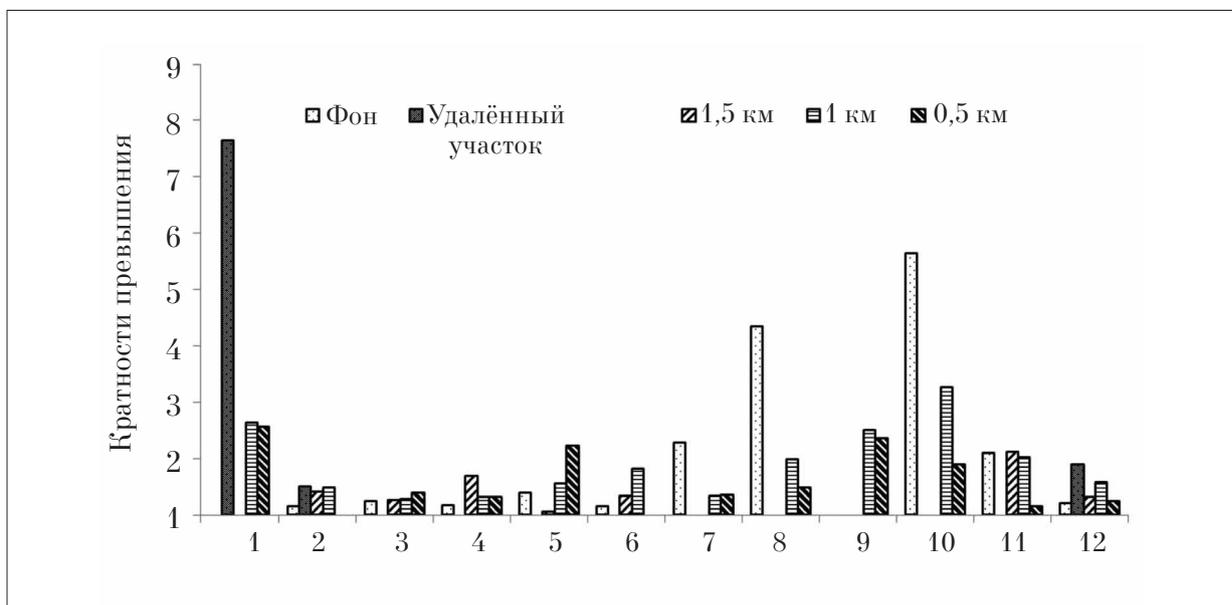


Рис. 3. Кратности превышения содержания индивидуальных ПАУ на поверхности живой части мха, над содержанием в отмершей для фонового участка; отмершей части мха, над содержанием в живой, для загрязнённых участков.

Примечание: 1 – нафталин, 2 – флуорен, 3 – фенантрен, 4 – антрацен, 5 – флуорантен, 6 – пирен, 7 – бенз[а]антрацен, 8 – хризен, 9 – бенз[б]флуорантен, 10 – бенз[к]флуорантен, 11 – бенз[а]пирен, 12 – ΣПАУ.

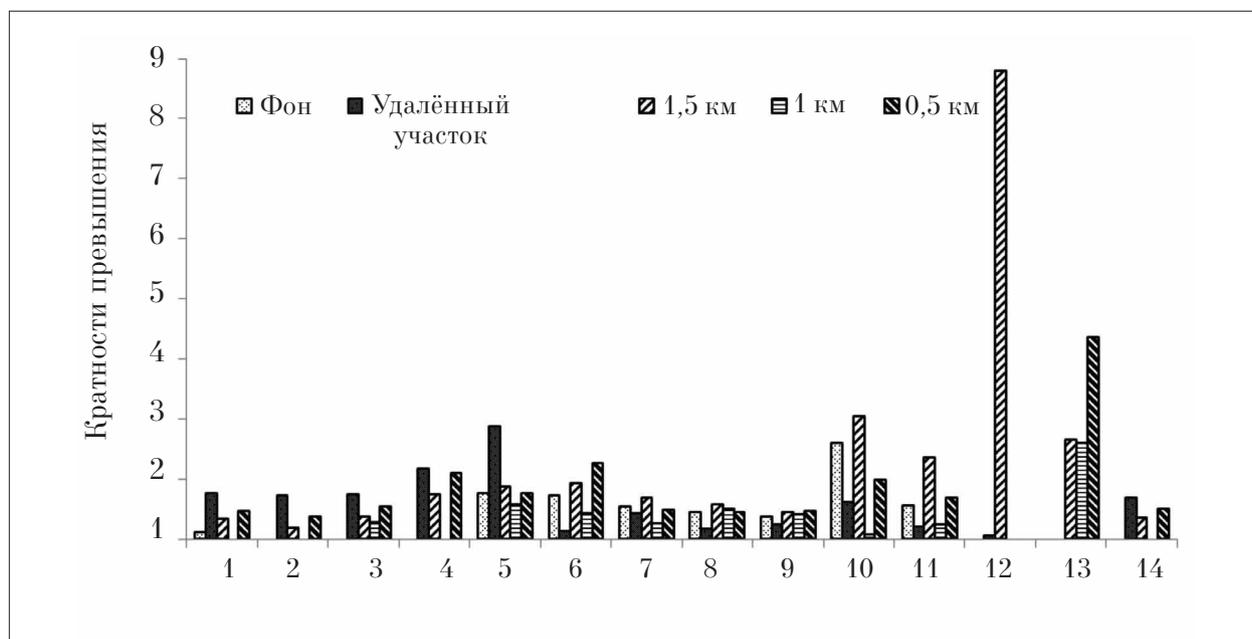


Рис. 4. Кратности превышения содержания индивидуальных ПАУ в тканях отмершей части мха, над содержанием в живой.

Примечание: 1 – нафталин, 2 – флуорен, 3 – фенантрен, 4 – антрацен, 5 – флуорантен, 6 – пирен, 7 – бенз[а]антрацен, 8 – хризен, 9 – бенз[б]флуорантен, 10 – бенз[к]флуорантен, 11 – бенз[а]пирен, 12 – дибенз[а, h]антрацен, 13 – бенз[ghi]перилен, 14 – ΣПАУ.

мха фонового участка, $Z=0,99$ (при $P = 0,95$, $n = 3$) на удалённом участке и в зоне действия шахты «Воркутинская». Для поверхностного накопления коэффициенты корреляции варьируют от $Z=0,83$ на расстоянии 0,5 км от шахты до $Z=0,99$ (при $P = 0,95$, $n = 3$) в 1 км и 1,5 км удалении.

Отличия в накоплении ПАУ живой и отмершей частью минимальны и находятся в пределах погрешности метода измерения, что позволяет говорить лишь о тенденциях. На фоновом участке содержание ПАУ на поверхности живой части мха незначительно выше, чем на поверхности отмершей (рис. 3), что обусловлено преобладанием на поверхности живой части 4, 5-ядерных полиаренов до 6 раз. В условиях отсутствия загрязнения, поглощение полиаренов мхом ослаблено. На удалённом участке суммарное содержание ПАУ выше в отмершей части за счёт преобладания нафталина и флуорена, массовая доля остальных ПАУ выше в живой части мха. На загрязнённых участках отмечено преобладание большинства ПАУ на поверхности отмершей части *P. schreberi*.

В тканях мха на всех исследованных участках большинство ПАУ концентрируется в отмершей части (рис. 4), при этом кратности превышения суммы ПАУ не выше 1,7 и максимальны на удалённом участке. На фоновом участке в живой части отмечено некоторое повышение содержания флуорена, флуорантена, антрацена и бенз[ghi]перилена. Эффект концентрирования ПАУ в отмершей части связан с более длительным накоплением ПАУ, по сравнению с живой.

Коэффициенты корреляции между поверхностным и внутренним содержанием составляют более 0,60 на всех исследуемых участках. Следует отметить, что наивысшие коэффициенты выявлены для отмершей части.

Выводы

На поверхности растений фонового участка идентифицировано 10 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[a]антрацен, хризен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен. На разном расстоянии от шахты «Воркутинская» выявлено присутствие 12 ПАУ, помимо перечисленных в растении, присутствовали: бенз[b]-флуорантен и бенз[ghi]перилен.

Показано, что ПАУ на поверхности и в тканях растений представлены преимущественно лёгкими углеводородами, на фоно-

вом участке основным компонентом в суммарном содержании ПАУ был фенантрен, на удалённом и загрязнённых участках – нафталин.

Выявлено значительное превышение фоновых значений поверхностного содержания ПАУ на удалённом участке в 5 раз, обусловленное повышенным содержанием лёгких углеводородов. В зоне действия шахты Воркутинская максимальные кратности превышения были отмечены на расстоянии 0,5 км от источника (в 6 раз) и снижались по мере удаления от шахты до 2–3 раз за счёт убыли 4, 6-ядерных ПАУ.

В тканях мха фонового участка выявлено 11 структур полиаренов: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[a]антрацен, хризен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, и бенз[ghi]перилен на загрязнённых участках обнаружены также бенз[b]-флуорантен и дибенз[a,h]антрацен.

Установлено, что в зоне действия шахты «Воркутинская» аккумуляция ПАУ в тканях происходит более интенсивно, кратности превышения фоновых значений суммарной массовой доли ПАУ составляют 8–21 раз и возрастают по мере приближения к источнику. Для удалённого участка кратности превышения составляют 5 раз.

Установлено, что вклад поверхностного загрязнения в суммарное содержание ПАУ снижается от 16–18% на фоновом и удалённом участке до 3–7% по мере удаления от угледобывающего предприятия. Предположительно процесс аккумуляции интенсифицируется при значительном попадании на поверхность мха тяжёлых структур ПАУ.

Состав ПАУ отмершей и живой части *P. schreberi* идентичны, отличия в накоплении ПАУ – минимальны. Выявлена тенденция к преимущественному накоплению полиаренов в отмершей части мха.

P. schreberi, в силу своей широкой распространённости и способности к активной аккумуляции ПАУ, может быть использован в целях биоиндикации уровня загрязнения в зонах действия угледобывающей промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Коми № 16-44-110581 p_a.

Литература

1. Абакумов Е.В., Лодыгин Е.Д., Габов Д.А., Крыленков В.А. Содержание полициклических ароматиче-

ских углеводов в почвах Антарктиды на примере российских полярных станций // Гигиена и санитария. 2014. № 1. С. 30–34.

2. Ани́ськина М.В., Яковлева Е.В. Особенности деструкции бенз[а]пирена элодеей канадской в водной среде // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 82–88.

3. Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко В.М. Влияние бенз[а]пиренового загрязнения на ростовые процессы и состав полиаренов растений // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 45–51.

4. Li W., Chen B., Ding X. Environment and reproductive health in China: challenges and opportunities // Environmental Health Perspectives. 2012. V. 120. No. 5. P. A184–A185.

5. Iodice P., Adamo P., Capozzi F., Di Palma A., Senatore A., Spagnuolo V., Giordano S. Air pollution monitoring using emission inventories combined with the moss bag approach // Science of the Total Environment. 2016. V. 541. P. 1410–1419.

6. Wu Q., Wang X., Zhou Q. Biomonitoring persistent organic pollutants in the atmosphere with mosses: Performance and application // Environment International. 2014. V. 66. P. 28–37.

7. Zhang Y.F., Shotyk W., Zacccone C., Noernberg T., Pelletier R., Bicalho B., Froese D.G., Davies L., Martin J.W. Airborne petcoke dust is a major source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Athabasca oil sands region // Environmental Science & Technology. 2016. V. 50. No. 4. P. 1711–1720.

8. Vingiani S., De Nicola F., Purvis W. O., Concha-Grana E., Muniategui-Lorenzo S., Lopez-Mahia P., Giordano S., Adamo P. Active biomonitoring of heavy metals and PAHs with mosses and lichens: a case study in the cities of Naples and London // Water Air and Soil Pollution. 2015. V. 226. No. 8. P. 240.

9. Doegowska S., Migaszewski Z.M. PAH concentration in the moss species *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from the Kielce area (south-central Poland) // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. V. 74. P. 1636–1644.

10. Foan L., Domercq M., Bermejo R., Santamaria J.M., Simon V. Mosses as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: Comparison with total deposition and evaluation of bioconcentration factors. A year-long case study // Chemosphere. 2015. V. 119. P. 452–458.

11. Migaszewski, Z.M., Galuszka A., Crock J.G., Lamothe P.J., Dolegowska S. Interspecies and interregional comparisons of the chemistry of PAHs and trace elements in mosses *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska // Atmospheric Environment. 2009. V. 43. P. 1464–1473.

12. Skert N., Falomo J., Giorgini L., Acquavita A., Capriglia L., Grahonja R. Biological and artificial matrixes as PAH accumulators: an experimental comparative study // Water Air Soil Pollut. 2010. V. 206. No. 1. P. 95–103.

13. Lankin A.V., Kreslavski V.D., Zharmukhamedov S.K., Allakhverdiev S.I., Khudyakova A.Yu. Effect of naphthalene on photosystem 2 photochemical activity of pea plants // Biochemistry (Moscow). 2014. V. 79. No. 11. P. 1216–1225.

14. Yakovleva E.V., Gabov D.N., Beznosikov V.A., Kondratenok V.M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and lower-layer plants of the southern shrub tundra under technogenic conditions // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47. No. 6. P. 562–572.

15. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Под ред. А.И. Таскаева. М.: ДиК Дрофа, 1997. 116 с.

16. Атлас почв Республики Коми / Под ред. А.И. Таскаева. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с.

17. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Фракционно-групповой состав гумуса криогенных поверхностно-глеевых и гидроморфных почв Большеземельской тундры // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2012. Вып. 3. № 1. С. 107–120.

18. Горшков А.Г., Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Верещагин А.Л. Накопление полициклических ароматических углеводов в хвое сосны обыкновенной на территории Прибайкалья // Лесоведение. 2008. № 2. С. 21–26.

References

1. Abakumov E.V., Lodygin E.D., Gabov D.A., Krylenkov V. A. Polycyclic aromatic hydrocarbons content in Antarctica soils as exemplified by the Russian polar stations // Gigena i Sanitariya. 2014. No. 1. P. 30–34 (in Russian).

2. Aniskina M.V., Yakovleva E. V. Benz[a]pyrene destruction by *Elodea canadensis* L. in water // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. No. 3. 2016. P. 82–88 (in Russian).

3. Yakovleva E.V., Gabov D.N., Beznosikov V.A., Kondratenok V.M. Influence of benz[a]pyrene pollution on the growth processes and structure of polyarenes in plants // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. No. 4. P. 45–51 (in Russian).

4. Li W., Chen B., Ding X. Environment and reproductive health in China: challenges and opportunities // Environmental Health Perspectives. 2012. V. 120. No. 5. P. A184–A185.

5. Iodice P., Adamo P., Capozzi F., Di Palma A., Senatore A., Spagnuolo V., Giordano S. Air pollution monitoring using emission inventories combined with the moss bag approach // Science of the Total Environment. 2016. V. 541. P. 1410–1419.

6. Wu Q., Wang X., Zhou Q. Biomonitoring persistent organic pollutants in the atmosphere with mosses: Performance and application // Environment International. 2014. V. 66. P. 28–37.

7. Zhang Y.F., Shotyk W., Zacccone C., Noernberg T., Pelletier R., Bicalho B., Froese D.G., Davies L., Martin J.W. Airborne pet coke dust is a major source of polycyclic aro-

matic hydrocarbons in the Athabasca oil sands region // Environmental Science & Technology. 2016. V. 50. No. 4. P. 1711–1720.

8. Vingiani S., De Nicola F., Purvis W. O., Concha-Grana E., Muniategui-Lorenzo S., Lopez-Mahia P., Giordano S., Adamo P. Active biomonitoring of heavy metals and PAHs with mosses and lichens: a case study in the cities of Naples and London // Water Air and Soil Pollution. 2015. V. 226. No. 8. P. 240.

9. Doegowska S., Migaszewski Z.M. PAH concentration in the moss species *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from the Kielce area (south-central Poland) // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. V. 74. P. 1636–1644.

10. Foan L., Domercq M., Bermejo R., Santamaria J.M., Simon V. Mosses as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: Comparison with total deposition and evaluation of bioconcentration factors. A year-long case study // Chemosphere. 2015. V. 119. P. 452–458.

11. Migaszewski, Z.M., Galuszka A., Crock J.G., Lamothé P.J., Dołęgowska S. Interspecies and interregional comparisons of the chemistry of PAHs and trace elements in mosses *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska // Atmospheric Environment. 2009. V. 43. P. 1464–1473.

12. Skert N., Falomo J., Giorgini L., Acquavita A., Capriglia L., Grahonja R. Biological and artificial matrixes

as PAH accumulators: an experimental comparative study // Water Air Soil Pollut. 2010. V. 206. No. 1. P. 95–103.

13. Lankin A.V., Kreslavski V.D., Zharmukhamedov S.K., Allakhverdiev S.I., Khudyakova A.Yu. Effect of naphthalene on photosystem 2 photochemical activity of pea plants // Biochemistry (Moscow). 2014. V. 79. No. 11. P. 1216–1225.

14. Yakovleva E.V., Gabov D.N., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and lower-layer plants of the southern shrub tundra under technogenic conditions // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47. No. 6. P. 562–572.

15. Atlas of the Komi Republic on climate and hydrology / Ed. A.I. Taskaev. M.: DiK, Drofa, 1997. 116 p. (in Russian)

16. Soil atlas of the Komi Republic / Ed. A.I. Taskaev. Syktyvkar: Komi Respublikanskaya Tipografiya, 2010. 356 p. (in Russian).

17. Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Fraction-group humus composition of cryogenic surface-gley and hydromorphic soils of the Bolshezemelskaya tundra // Vestn. S.-Peterb. un-ta. 2012. V. 3. No. 1. P. 107–120 (in Russian).

18. Gorshkov A.G., Mikhailova T.A., Berezhnaya N.S., Vereshchagin A.L. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in needles of Scots pine in Near-Baikal region // Lesovedeniye. 2008. No. 2. P. 21–26 (in Russian).

УДК 597.2.5:574.583:592(282.247.1)

Оценка состояния гидробиоценозов малых водотоков бассейна р. Аргунь

© 2017. Е. Ю. Афонина, к. б. н., н. с., А. В. Афонин, с. н. с.,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16 а,
e-mail: kataf@mail.ru, AlexAA@yandex.ru

Гидробиологические исследования проводились в июле 2006, 2013 и 2015 гг. в реках бассейна р. Аргунь. Район работ условно подразделён на три участка: естественные ненарушенные речные экосистемы (Малая Борзя, Чиндаготай, Кутомара, Донинская Борзя, Верхняя Борзя, Средняя Борзя (верхнее течение); ранее подвергшиеся воздействию золотодобычи (Средняя Борзя (среднее течение), карьеры № 1, № 3); находящиеся в настоящее время под влиянием промывки золота (Средняя Борзя (нижнее течение, пруд-отстойник, карьер № 2). Всего в составе планктонной фауны отмечено 73 вида и подвида, в составе ихтиофауны – 18 видов. В бассейне р. Верхняя Борзя отмечено 16 видов беспозвоночных и 8 – рыб, в бассейне р. Средняя Борзя – 70 и 17 соответственно. В зоопланктоне к фоновым отнесены широко распространенные и эврибионтные виды: *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Bosmina longirostris* (Müller), *Chydorus sphaericus* (Müller), *Eucyclops denticulatus* (Graeter). Общими видами в ихтиофауне являлись *Carassius auratus gibelio* (Bloch), *Leuciscus waleckii* (Dybowski), *Rhodeus sericeus sericeus* (Pallas), *Phoxinus lagowskii* Dybowski, *Cobitis melanoleuca* Nichols, *Percottus glenii* Dybowski, *Parasilurus asotus* (Linnaeus). Экосистемы верхних участков рек Верхняя Борзя и Средняя Борзя и их притоки сохранили свое естественное состояние. Наибольшей трансформации подверглись экосистемы среднего течения р. Средняя Борзя. Зоопланктон естественных участков водотоков характеризовался бедным составом (2–3 таксона), общая численность варьировала в пределах 20–90 экз./м³, биомасса – 0,03–0,56 мг/м³ при доминировании младшевозрастных стадий ракообразных. В техногенных водоёмах число видов увеличивалось до 19–25, а количественные показатели – до 100–111640 экз./м³

и 0,45–561,5 мг/м³. В составе ихтиофауны р. Верхняя Борзя доминировали представители бореального равнинного комплекса, ихтиоценоз характеризовался как чебаково-карасевый. В р. Средняя Борзя преобладали рыбы китайского равнинного комплекса, ихтиоценоз – чебаково-карасево-сомовый. Техногенные ландшафты способствовали распространению чужеродного вида – ротана и практически полному уничтожению среды обитания ценных видов рыб (ленок, хариус и налим).

Ключевые слова: зоопланктон, ихтиофауна, трансформация гидробиоценозов, золотодобыча, реки Верхняя Борзя, Средняя Борзя, Аргунь.

Assessment of hydrobiocenoses in the small rivers of Argun river basin

E. Yu. Afonina, A. V. Afonin,

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch RAS,
16 a Nedorezova St., Chita, Russia, 672014,
e-mail: kataf@mail.ru, AlexAA@yandex.ru

Hydrobiological studies were conducted in July 2006, 2013 and 2015 on the Argun river basin tributaries. The area of work is conditionally divided into three sections: natural undisturbed river ecosystems (Malaya Borzya, Chingoratay, Kutomara, Doninskaya Borzya, Verkhnyaya Borzya, Srednyaya Borzya (the upper river part), previously affected by gold mining (Srednyaya Borzya (the middle river part), quarry No. 1, No. 3), currently under the influence of gold washing (Srednyaya Borzya (the lower river part), sediment pond, quarry No. 2.) In total, 73 species and subspecies were recorded in the plankton fauna, 18 species were recorded in the ichthyofauna. 16 species of invertebrates and 8 species of fish were marked in the Verkhnyaya Borzya river basin, 70 and 17 species respectively were in the Srednyaya Borzya river basin. In the zooplankton, widely distributed and eurybiont species are classified as background ones: *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Bosmina longirostris* (Müller), *Chydorus sphaericus* (Müller), *Eucyclops denticulatus* (Graeter), *Carassius auratus gibelio* (Bloch), *Leuciscus waleckii* (Dybowski), *Rhodeus sericeus sericeus* (Pallas), *Phoxinus lagowskii* Dybowski, *Cobitis melanoleuca* Nichols, *Percottus glenii* Dybowski, *Parasilurus asotus* (Linnaeus) were the common species in the ichthyofauna. The ecosystems of the Verkhnyaya Borzya and Srednyaya Borzya rivers upper sections and their tributaries have preserved their natural state. The greatest transformation was made by the ecosystems in the Srednyaya Borzya river middle part. The zooplankton on the natural sections was characterized by a poor composition (2–3 taxa), the total number varied within the range of 20–90 ind./m³, biomass varied 0.03–0.56 mg /m³ with dominance of the crustaceans juvenile stages. In technogenic reservoirs, the its number of species increased to 19–25, and quantitative indices – up to 100–111640 ind./ m³ and 0.45–561.5 mg/m³. In the ichthyofauna of the Srednyaya Borzya river was dominated by fish from the boreal plain complex, the ichthyocenosis was characterized as ide-crucian. The fish from the chinese flat complex dominated in the Srednyaya Borzya river, the ichthyocenosis was as ide-crucian-catfish. Technogenic landscapes promoted the spread of the alien species (ratan) and almost complete habitat destruction of the valuable fish species (lenok, grayling and burbot).

Keywords: zooplankton, ichthyofauna, transformation of hydrobiocenosis, gold mining, Verkhnyaya Borzya, Srednyaya Borzya and Argun rivers.

Речные экосистемы, функционирующие в условиях сурового климата и низкого потенциала самоочищения и самовосстановления, весьма уязвимы ко всем видам природных и антропогенных факторов воздействия. Добыча полезных ископаемых из россыпей – одно из самых кардинальных антропогенных влияний, которое приводит к уничтожению всех компонентов местной экосистемы [1]. Формирующиеся на месте разработок экосистемы существенно отличаются по рельефу, составу флоры и фауны от незатронутых золотодобычей экосистем, поскольку изменение морфодинамического типа русла рек приводит к возникновению биотопов участков рек с особыми условиями существования водных биоценозов.

На территории Забайкальского края наибольшему влиянию золотодобывающих пред-

приятий подвержены реки Верхнего Амура, основным ключевым участком которого является трансграничный природный комплекс р. Аргунь. Продолжительное воздействие золотодобычи на водные ресурсы Аргуни привело к существенному изменению основных характеристик речных экосистем.

Цель работы – определение состояния речных сообществ в нарушенных и естественных участках водотоков и их трансформации.

Материалы и методы

Гидробиологические исследования бассейнов рек Верхняя Борзя и Средняя Борзя проводились в июле 2006, 2013, 2015 гг. Район работ условно был подразделён на три участка. Первый – это естественные ненарушенные

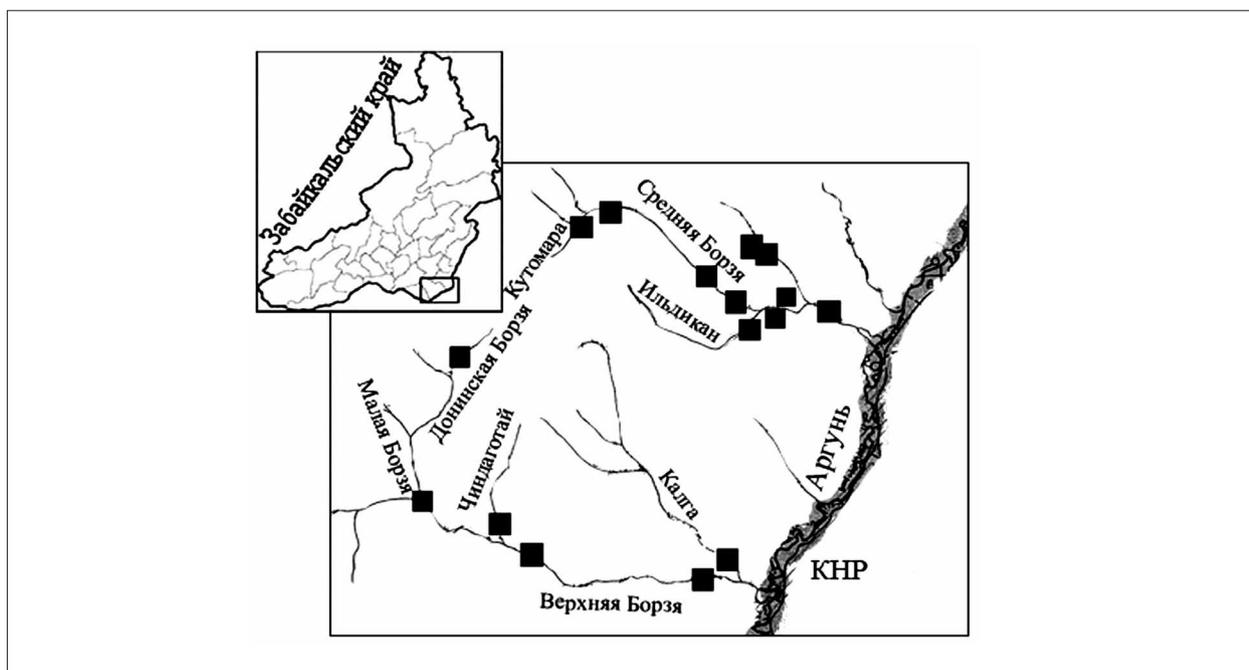


Рис. 1. Карта-схема мест отбора гидробиологических проб

Таблица 1

Некоторые гидрологические характеристики обследованных водотоков

Река	Площадь водосбора, км ² *	Длина, км*	Скорость течения, м/сек**	Ширина, м**
Малая Борзя	0	менее 10	0,3	5–10
Верхняя Борзя	4040	153	0,5–0,8	10–25
Чиндаготай	0	22	–	5–10
Донинская Борзя	0	56	0,5–1,0	5–15
Калга	856	71	0,3–0,5	2–5
Средняя Борзя	1410	118	0,5–1,0	5–40
Кутомара	0	26	0,5	2–5

Примечание: * – [2]; ** – данные авторов; «–» – не определяли.

участки речной экосистемы – Малая Борзя, Чиндаготай, Кутомара, Донинская Борзя, Верхняя Борзя, Средняя Борзя (верхнее течение); второй – участки, ранее подвергшиеся воздействию золотодобычи – Средняя Борзя (среднее течение), карьеры № 1 и № 3; третий – участки, находящиеся в настоящее время под влиянием промывки золота – Средняя Борзя (нижнее течение, пруд-отстойник, карьер № 2) (рис. 1).

Некоторые гидрологические характеристики обследованных рек представлены в таблице 1.

Обследованные водотоки протекают по лесостепной местности. Река Верхняя Борзя и притоки имеют заросшие растительностью берега, медленное течение. Русло в нижнем течении, при выходе на пойму р. Аргунь, глубоко

врезано в пойму. Поверхностный сток р. Чиндаготай в 2015 г. отсутствовал, стоячая вода наблюдалась только в уловах (глубиной до 1 м).

Верхнее течение р. Средняя Борзя (длиной 15–20 км от истока) характеризуется глубоким руслом, болотистыми и заросшими кустарниками берегами, наличием перекатов с произрастанием мхов. Вода чистая и прозрачная, в ямах глубина достигает до 1 м. В среднем течении река практически полностью нарушена отработками золотодобывающих предприятий и представляет собой каскад различных техногенных водоёмов. Русло частично отведено в руслоотводной канал, но в основном идёт по дражным отработкам. В нижнем течении река имеет естественное русло с уловами (до 2 м) и мелководными перекатами. Вода мутная, белёсого цвета.

Таблица 2

Некоторые характеристики обследованных водоёмов

Водоём	Глубина, м	Прозрачность, м	Температура воды, °С
Пруд-осветлитель	0,5–2,0	0,5–2,0	20,4–24,5
Карьер (1986 г. отработки)	6,0	1,0	23,6
Карьер (р. Большой Кору́й)	3,0	1,5	22,4
Карьер № 1	0,5–4,0	1,6	22,6
Карьер № 2	2,0–3,5	1,2	21,8
Карьер № 3 (дренажный)	0,5–1,0	0,5–1,0	21,6

Обследовались также техногенные водоёмы (табл. 2).

Прибрежная зона «старых» водоёмов (1986 г. отработки и на р. Большой Кору́й, пруд-осветлитель) с обильным развитием водной и околородной растительности. Карьер № 1 извилистый, состоит из множества заливов и перешейков; карьер № 2 представляет собой две озёровидные чаши, соединяющиеся между собой и с рекой; карьер № 3 – дренажный, с рекой не соединяется, питание за счёт подземных дренажных вод и атмосферных осадков. В пруд-осветлитель впадает ручей Ильдикан.

При отборе проб зоопланктона применяли сеть Джели средней модели (с диаметром входного отверстия 25 см) и фильтрующим конусом из капронового сита с диаметром ячеи

0,064 мм и гидробиологический сачок (диаметр входного отверстия 38 см, размер ячеи 0,094 мм), через который проливали 100–150 л воды. Всего собрано и обработано 27 проб. Лабораторную обработку фиксированных 4%-м раствором формальдегида образцов проводили по стандартной количественно-весовой методике [3].

Лов рыб осуществляли при помощи сетей с ячейей от 10 мм до 45 мм, длиной 10–30 м, применяли также ловушки типа «морда» и «верша», сачок и мальковый невод с мотнёй из мельничного газа, длиной 10 м. Обработку проб осуществляли в соответствии с общепринятыми методами [4]. Полный биологический анализ рыб проводили в полевых условиях. Возраст рыб определяли по [5].

Таблица 3

Численность, биомасса и доминантные виды зоопланктона

Объекты	Дата отбора	N, экз./м ³	B, мг/м ³	Доминанты	
Верхняя Борзя	нижнее теч.	15.07.2006 г.	90	0,33	Nauplii Cyclopoida
	среднее теч.	07.07.2015 г.	30	0,03	нет
			20	0,03	нет
Донинская Борзя, нижнее течение	13.07.2015 г.	110	0,22	<i>Notholca squamula</i> (Müller)	
Средняя Борзя	верхнее теч.	13.07.2006 г.	30	0,03	нет
		22.07.2013 г.	50	0,56	нет
			20	0,02	нет
	среднее теч.	13.07.2015 г.	430	0,71	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer)
	нижнее теч.		20	0,24	нет
Кутомара, нижнее теч.	12.07.2015 г.	30	0,07	нет	
Пруд-осветлитель	14.07.2006 г.	680	20,79	<i>E. denticulatus</i> , <i>B. longirostris</i>	
	15.07.2013 г.	100	0,45	<i>E. denticulatus</i>	
	09.07.2015 г.	30–4190	0,06–10,02	<i>E. denticulatus</i> , <i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg	
Карьер (1986 г. отработки)	13.07.2006 г.	20390	21,64	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer),	
Карьер (р. Большой Кору́й)	14.07.2006 г.	45050	66,09	<i>B. longirostris</i>	
Карьер № 1	11.07.2015 г.	111640	561,50	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus) + <i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer)	
Карьер № 2		54050	190,03	<i>S. pectinata</i> , <i>M. leuckarti</i> + <i>T. crassus</i>	
Карьер № 3 (дренажный)		10720	4,18	<i>T. crassus</i>	

Коэффициент общности состава животных рассчитывали по индексу видового сходства Чекановского-Сёренсена [6]. Для оценки разнообразия зоопланктона применялись индексы Шеннона (H_n), Пielу (e), Симпсона (D_s) [7].

Результаты и обсуждение

Показателем разнообразия планктонной фауны обследованных водных объектов является наличие 73 таксономических единиц, из которых 43 вида и подвида относятся к Rotifera, 19 видов – к Cladocera, 11 – к Copepoda. Обнаружены также представители отрядов Bdelloida и Harpacticoida. В р. Верхняя Борзя зарегистрировано 16 видов, в р. Средняя Борзя – 70. К фоновым отнесены космополитные и эврибионтные виды: *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Bosmina longirostris* (Müller), *Chydorus sphaericus* (Müller), *Eucyclops denticulatus* (Graeter). В составе зоопланктона идентифицировано 3 новых, ранее не зарегистрированных в нашем регионе видов коловраток: *Trichocerca pusilla* (Jennings), *Lecane luna balatonica* (Varga), *Cephalodella ventripes* (Dixon-Nutall), являющиеся обитателями заросших прибрежий техногенных водоёмов. В р. Верхняя Борзя от истока к устью количество видов планктонных животных сокращалось от 6 до 2, в р. Средняя Борзя наибольшее число видов (7) отмечалось на среднем участке. В р. Малая Борзя зоопланктеры не встречались.

Зоопланктон естественных участков водотоков характеризовался бедным составом (2–3 таксона), общая численность варьировала в пределах 20–90 экз./м³, биомасса – 0,03–0,56 мг/м³ при доминировании младше возрастных стадий ракообразных. В техногенных водоёмах число видов увеличивалось до 19–25, а количественные показатели – до 100–111640 экз./м³ и 0,45–561,5 мг/м³ (табл. 3).

В водоёмах (кроме карьера № 2) развивался трансформированный неустойчивый зоопланктоценоз с усилением доминирования одного-двух эврибионтных видов ($H_n = 1,01–1,82$; $e = 0,42–0,57$; $D_s = 0,34–0,45$). Зоопланктон карьера № 2 многовидовой, его основой являлись эврибионтные и литоральные формы ($H_n = 2,24$, $e = 0,82$, $D_s = 0,73$).

Ихтиофауна бассейна р. Верхняя Борзя состояла из 8 видов, р. Средняя Борзя – из 17, общим количеством 18 видов, относящихся к шести семействам. Преобладали рыбы семейства карповых (70,6%). Общими видами являлись: *Carassius auratus gibelio* (Bloch) – ка-

рась серебряный, *Leuciscus waleckii* (Dybowski) – чебак или амурский язь, *Rhodeus sericeus sericeus* (Pallas) – обыкновенный амурский горчак, *Phoxinus lagowskii* Dybowski – голянь Лаговского, *Cobitis melanoleuca* Nichols – сибирская щиповка, *Perccottus glenii* Dybowski – головёшка-ротан, *Parasilurus asotus* (Linnaeus) – амурский сом. В р. Верхняя Борзя встречался также *Gobio gobio cynocephalus* Dybowski – сибирский пескарь, в р. Средняя Борзя – *Brachymystax lenok* (Pallas) – ленок, *Cyprinus carpio haematopterus* (Temminick et Schlegel) – амурский сазан, *Phoxinus percnurus* (Pallas) – озёрный голянь, *Pseudorasbora parva* (Temminick et Schlegel) – амурский чебачёк, *Sarcocheilichthys czerskii* (Berg) – пескарь-губач Черского, *Gobio soldatovi* Berg – пескарь Солдатова, *Squalidus chankaensis* Dybowski – ханкинский пескарь, *Ladislavia taczanowskii* Dybowski – владиславия, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky) – востробрюшка и *Barbatula toni* (Dybowski) – сибирский голец, *Phoxinus lagowskii* Dybowski – голянь Лаговского отмечался на всех станциях опробования. Количество видов рыб в водотоках увеличивалось от истока к устью. В составе ихтиофауны р. Верхняя Борзя доминировали представители бореального равнинного комплекса (62,5%), ихтиоценоз характеризовался как чебаково-карасёвый, промысловых видов – 3. В р. Средняя Борзя преобладали рыбы китайского равнинного комплекса (47%), ихтиоценоз – чебаково-карасёво-сомовый, промысловых видов рыб – 5.

В уловах присутствовали рыбы младшего возраста. Линейно-весовые показатели и упитанность рыб в среднем и нижнем течении рек и в карьерах отличий не имели (табл. 4).

Сооружение различных водоёмов на малых реках приводит к образованию новых, не типичных для реки условий обитания, к изменению структуры и состава ихтиофауны и экобиологических параметров гидробионтов. На данном участке реки происходит увеличение числа видов и численности рыб и беспозвоночных, ранее встречающихся единично, и/или доминирующие до этого виды становятся малочисленными [1], что отражено и в наших исследованиях. Появление в реках Верхняя Борзя и Средняя Борзя новых видов рыб (ханкинский пескарь, владиславия, востробрюшка) и фитофильных и литоральных форм зоопланктона произошло вследствие их проникновения из р. Аргунь и пойменных озёр, стариц во время летнего паводка 2013 г., а также в результате целенаправленного или случай-

Линейно-весовые показатели и упитанность промысловых видов рыб (2015 г.)

Возраст (лет)	n	L ₁ , мм	L ₂ , мм	Q ₁ , г	Q ₂ , г	Уф	Ук
р. ВЕРХНЯЯ БОРЗЯ							
<i>Чебак</i>							
Среднее течение							
1+	11	<u>110–138</u> 124	<u>135–160</u> 149	<u>21–37</u> 28	<u>18–33</u> 25	<u>1,08–1,97</u> 1,53	<u>1,62–1,97</u> 1,36
2+	6	<u>135–170</u> 155	<u>160–200</u> 184	<u>37–80</u> 61	<u>33–71</u> 52	<u>1,41–1,71</u> 1,60	<u>1,13–1,51</u> 1,38
3+	6	<u>172–188</u> 179	<u>202–220</u> 211	<u>81–107</u> 95	<u>73–95</u> 83	<u>1,58–1,77</u> 1,64	<u>1,37–1,53</u> 1,45
4+	3	<u>198–223</u> 214	<u>230–260</u> 250	<u>140–191</u> 170	<u>127–175</u> 155	<u>1,69–1,80</u> 1,74	<u>1,54–1,64</u> 1,58
Нижнее течение							
1+	6	<u>108–125</u> 116	<u>130–150</u> 140	<u>20–33</u> 26	<u>16–28</u> 22	<u>1,50–1,69</u> 1,60	<u>1,27–1,50</u> 1,39
2+	2	<u>150–160</u> 155	<u>178–190</u> 184	<u>60–75</u> 66	<u>46–65</u> 56	<u>1,78–1,83</u> 1,80	<u>1,36–1,59</u> 1,47
3+	6	<u>168–185</u> 176	<u>200–220</u> 211	<u>86–108</u> 95	<u>83–100</u> 87	<u>1,54–2,00</u> 1,76	<u>1,42–1,81</u> 1,61
4+	6	<u>195–212</u> 203	<u>230–250</u> 241	<u>114–165</u> 141	<u>108–146</u> 126	<u>1,43–1,79</u> 1,68	<u>1,35–1,59</u> 1,50
<i>Карась</i>							
Среднее течение							
2+	2	95	120	27	22	3,1	2,59
3+	1	130	158	62	52	2,82	2,37
Нижнее течение							
0+	1	68	82	9	7	2,86	2,23
2+	1	100	125	32	30	3,2	3
3+	1	130	160	62	56	2,82	2,55
<i>Сом</i>							
Нижнее течение							
2+	2	306	–	166	151	0,57	0,52
р. СРЕДНЯЯ БОРЗЯ							
<i>Чебак</i>							
Средняя Борзя, давно нарушенный участок дражной отработки							
1+	1	100	120	17	16	1,7	1,6
2+	4	<u>140–145</u> 142	<u>170–75</u> 173	<u>47–57</u> 50	<u>40–45</u> 42	<u>1,68–1,87</u> 1,75	<u>1,46–1,53</u> 1,47
3+	1	152	185	69	60	1,96	1,71
4+	4	<u>210–228</u> 219	<u>242–265</u> 256	<u>144–226</u> 187	<u>130–186</u> 163	<u>1,55–2,07</u> 1,74	<u>1,40–1,70</u> 1,53
Карьер № 2							
1+	7	<u>110–120</u> 111	<u>130–142</u> 132	<u>18–25</u> 21	<u>16–23</u> 18	<u>1,35–1,65</u> 1,49	<u>1,20–1,50</u> 1,32
2+	2	188	220	119	111	1,79	1,67
Пруд-осветлитель							
1+	27	<u>100–125</u> 99	<u>120–150</u> 132	<u>12–31</u> 20	<u>11–25</u> 18	<u>1,13–1,88</u> 1,52	<u>1,05–1,57</u> 1,35
2+	8	<u>128–170</u> 147	<u>155–200</u> 175	<u>33–80</u> 52	<u>28–68</u> 44	<u>1,50–1,66</u> 1,60	<u>1,19–1,48</u> 1,37
3+	2	<u>160–170</u> 165	<u>190–200</u> 195	<u>69–84</u> 77	<u>62–74</u> 68	<u>1,68–1,71</u> 1,70	<u>1,51–1,51</u> 1,51

<i>Карась серебряный</i>							
Средняя Борзя, давно нарушенный участок дражной отработки							
2+	4	<u>118-122</u> 120	<u>148-150</u> 145	<u>56-62</u> 60	<u>49-53</u> 51	<u>3,24-3,65</u> 3,47	<u>2,84-3,04</u> 2,92
3+	6	<u>120-150</u> 132	<u>160-180</u> 166	<u>70-92</u> 78	<u>60-80</u> 67	<u>2,73-4,46</u> 3,46	<u>2,37-3,70</u> 2,97
4+	1	160	220	129	111	3,15	2,73
Карьер № 1							
2+	4	99	121	31	27	3,19	3,78
3+	6	<u>120-140</u> 128	<u>150-170</u> 63	<u>54-80</u> 63	<u>47-72</u> 56	<u>2,73-3,76</u> 3	<u>2,18-2,72</u> 2,62
Карьер № 2							
4+	2	188	220	119	111	1,79	1,97
Сом							
Средняя Борзя, давно нарушенный участок дражной отработки							
2+	5	<u>260-280</u> 276	–	<u>102-174</u> 128	<u>90-159</u> 115	<u>0,48-0,79</u> 0,61	<u>0,44-0,72</u> 0,66
3+	2	331	–	209	188	0,57	0,51
Пруд-осветитель							
2+	1	190	–	151	190	2,2	2,7
3+	6	<u>290-355</u> 335	–	<u>163-279</u> 229	<u>135-262</u> 206	<u>0,50-0,65</u> 0,61	<u>0,45-0,61</u> 0,55
Ленок							
Карьер № 2							
3+	1	255	275	238	226	1,39	1,36

Примечание: L_1 – длина промысловая, L_2 – длина всей рыбы; Q_1 – полный вес рыбы; Q_2 – вес после порки; $Уф$ – упитанность по Фультону; $Ук$ – упитанность по Кларку; в числителе – max-min; в знаменателе – среднее значение.

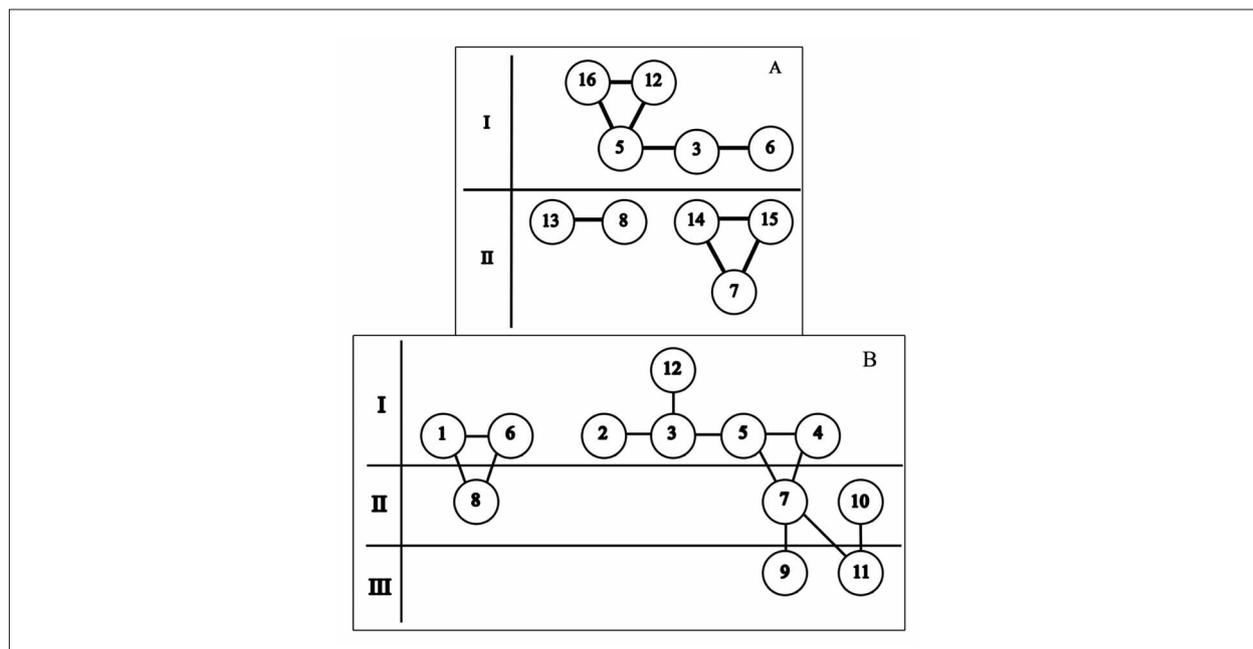


Рис. 2. Граф связи сходства участков рек по составу зоопланктона (А) и ихтиофауны (В).

Показан наибольший уровень связи. Участки: I – естественные экосистемы, II – нарушения 30-ти летней давности, III – современное воздействие. Цифрами обозначены: 1 – р. Малая Борзя; 2 – р. Чиндагатай; 3 – р. Верхняя Борзя, среднее течение; 4 – р. Калга, нижнее течение; 5 – р. Верхняя Борзя, нижнее течение; 6 – р. Средняя Борзя, верхнее течение; 7 – р. Средняя Борзя, среднее течение; 8 – карьер № 3; 9 – р. Средняя Борзя, выше моста автодороги Калга-Нер-Завод; 10 – карьер № 2; 11 – пруд-отстойник; 12 – р. Средняя Борзя, нижнее течение; 13 – карьер № 1; 14 – карьер 1986 г. отработки; 15 – карьер р. Большой Коруй; 16 – р. Кутомара.

ного вселения человеком (сазан). Техногенные ландшафты способствовали распространению чужеродного вида – ротана, темп роста которого гораздо выше, чем в естественных водоёмах [8], и практически полному уничтожению среды обитания ценных видов рыб, таких как ленок, хариус и налим, ранее обитавших в р. Средняя Борзя [9].

Для количественного определения степени сходства видового состава зоопланктона и ихтиофауны в естественных условиях и на нарушенных участках был рассчитан коэффициент Сёренсена-Чекановского, согласно которому минимальные значения коэффициента видового сходства отмечались между беспозвоночными и рыбами на ненарушенных участках и в изменённых. Максимальное видовое сходство (для зоопланктона составило 0,40–0,50, для ихтиофауны – более 0,75) установлено между составом биоценозов в естественных экосистемах и между составом животных в нарушенных. На основе индекса были построены графы связи (рис. 2).

Трансформация зоопланктоценозов осуществлялась в направлении смены реофильного сообщества (бедный качественный и количественный состав, доминирование Rotifera и ювенильных стадий ракообразных) на естественных участках рек на лимнофильное (увеличение числа видов и обилия с преобладанием наиболее устойчивых к неблагоприятным воздействиям среды Cyclopoidea) на участках, подверженных золотодобыче.

Изменение ихтиоценозов проявилось в уменьшении реофильных видов рыб в верхнем течении рек и увеличении лимнофильных – в среднем и нижнем. В р. Верхняя Борзя число реофильных видов колебалось от 33 до 50% (39% в среднем), а в р. Средняя Борзя – от 16 до 42% (29%).

Следует отметить, что трансформация биоценозов рек из разных природных ландшафтов отличаются. Речные сообщества горных таёжных долин менее подвержены модификации. Так, в ихтиоценозах нарушенных золотодобычей верхних притоков р. Онон преобладали такие виды рыб, как ленок, хариус, являющиеся обитателями богатых кислородом, чистых и прозрачных вод. В составе зоопланктона преобладали представители семейства Chydoridae [10].

Заключение

Видовой состав беспозвоночных планктона бассейнов рек Верхняя Борзя и Средняя

Борзя включал 73 вида и подвида, состав ихтиофауны – 18 видов. Такие виды, как *Euchlanis dilatata*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Eucyclops denticulatus*, гольян Лаговского встречались практически на всем протяжении водотоков. Количество видов беспозвоночных сокращалось от истока к устью, рыб – увеличивалось. В сообществе зоопланктона преобладали веслоногие ракообразные, в ихтиоценозе – чебак амурский и карась серебряный.

Оценка трансформации экосистем рек от истока к устью, показала, что наименее изменёнными являются экосистемы верхних участков рек Средняя Борзя и Верхняя Борзя и их притоки. Наибольшей модификации подверглись экосистемы среднего течения р. Средняя Борзя, проявившиеся в увеличении в гидробиоценозах доли лимнофильных видов, за счёт уменьшения скорости течения и повышении площади зарастаемости водной растительностью. Экосистема р. Средняя Борзя, несмотря на сильное воздействие золотодобывающей промышленности, сохраняет облик, близкий к естественному, хотя по ряду показателей (видовое богатство, структура и обилие) отмечается деградация. Отмеченные признаки последней соответствуют уровню экологического стресса, однако не выходят за пределы адаптационного потенциала экосистем водотоков в целом.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории водных экосистем в помощи отбора гидробиологических проб. Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту IX.137.1.1.

Литература

1. Reshetnik O.S. The anthropogenic transformation of the water bodies of the European North of Russia // Russian Journal of General Chemistry. 2010. V. 80. No. 13. P. 2738–2753.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Амур / Под ред. С.Д. Шабалина. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1966. 488 с.
3. Киселёв И.А. Планктон морей и континентальных водоёмов. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 658 с.
4. Правдин Н.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
5. Чугунова Н.Н. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959. 164 с.
6. Вайнштейн Б.А. Об оценке сходства между биоценозами // Биология, морфология и систематика водных организмов. Л.: Наука, 1976. С. 156–164.
7. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 198 с.

8. Горлачева Е.П., Афонин А.В. Проблема внедрения чужеродных видов рыб в Верхнеамурском бассейне // Современные проблемы экологической безопасности трансграничных регионов. Новосибирск: Наука, 2013. С. 146–157.

9. Горлачёва Е.П., Афонин А.В. Причины изменения качественного и количественного состава ихтиофауны водотоков Верхнего Амура // VIII съезд гидробиологического общества РАН. Калининград, 2001. С. 95–97.

10. Афонина Е.Ю., Афонин А.В. Фауна рыб и планктонных беспозвоночных некоторых притоков верхнего течения реки Онон (Забайкальский край) // Амурский зоологический журнал. 2015. Т. VII (1). С. 3–13.

References

1. Reshetnik O.S. The Anthropogenic transformation of the water bodies of the European North of Russia // Russian Journal of General Chemistry. 2010. V. 80. No. 13. P. 2738–2753.

2. Surface water resources of the USSR. Vol. 18. Far East. Issue 1. Amur / Ed. C.D. Shabalin. L.: Gidrometeorologicheskoye izd., 1966. 488 p. (in Russian).

3. Kiselev I.A. Plankton in the seas and inland waters. Leningrad: Nauka, 1969. V. 1. 658 p. (in Russian).

4. Pravdin I.F. A Fish study guide. M.: Pishchevaya promyshlennost, 1966. 376 p. (in Russian).

5. Chugunova N.N. Guidance on studying the age and growth of fish. Moskva: Izd. AN SSSR, 1959. 164 p. (in Russian).

6. Vainshtein B.A. Estimation of similarity between biocenoses // Biology, morphology and systematics of aquatic organisms. Leningrad: Nauka, 1976. P. 156–164 (in Russian).

7. Megarran E. Ecological diversity and its measurement. Moskva: Mir, 1992. 198 p. (in Russian).

8. Gorlacheva E.P., Afonina A.V. The problem of alien species introduction in the Upper Amur basin // Modern problems of ecological safety in cross-border regions. Novosibirsk: Nauka, 2013. P. 146–157 (in Russian).

9. Gorlacheva E.P., Afonina A.V. Reasons for qualitative and quantitative composition changes of fish fauna in the Upper Amur rivers // VIII RAS Hydrobiological Society Congress. Kaliningrad, 2001. P. 95–97 (in Russian).

10. Afonina E.Yu., Afonin A.V. Fauna of fishes and planktonic invertebrates in some tributaries of the upper Onon river (Zabaikalskykrai) // Amurian Zoological Journal. 2015. V. VII (1). P. 3–13 (in Russian).

УДК 543.3

Содержание фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона

© 2017. Д. Б. Петренко, старший преподаватель,
О. А. Гладнева, магистрант,

К. А. Ворончихина, мастер производственного обучения,
Н. В. Васильев, д. х. н., профессор, заведующий кафедрой,
Московский государственный областной университет,
141014, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Володиной, 24,
e-mail: DBPetrenko@yandex.ru, Gladneva93@mail.ru,
voronchikhina.ksenia@yandex.ru, nikolai-vasiliev@mail.ru

Приводятся результаты оценки содержания фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона. Концентрации фторид-ионов в исследованных водоёмах находятся в диапазоне 0,09–1,1 мг/дм³ и в большинстве случаев не превышают предельно допустимую концентрацию (0,75 мг/дм³). В 83% случаев концентрации фторид-ионов не превышают фоновых значений. Обнаружен ряд гидрохимических аномалий с повышенными содержаниями фторид-ионов относительно фоновых значений. Рассмотрено влияние состава вод на накопление ими фторид-ионов. Показано, что концентрация фторидов варьирует независимо от минерализации, рН, Eh, цветности, жёсткости и содержания отдельных катионов и анионов. Для поверхностных малокальциевых гидрокарбонатно-натриевых вод урбанизированных территорий Московского региона характерны более высокие концентрации фтора, чем для вод со сравнительно высоким содержанием кальция.

Ключевые слова: фторид-ионы, Московский регион, поверхностные воды, урбанизированные территории.

Content of fluoride ions in surface waters in urbanized territories of the Moscow region

D. B. Petrenko, O. A. Gladneva, K. A. Voronchikhina, N. V. Vasiliev,
 Moscow State Regional University,
 24 V. Voloshinoy St., Mytishi, Moscow region, Russia, 141014,
 e-mail: DBPetrenko@yandex.ru, Gladneva93@mail.ru,
 voron-chikhina.ksenia@yandex.ru, nikolai-vasiliev@mail.ru

The results of assessment of fluoride ion content in surface waters of urbanized territories of Moscow region, using ionometry with a fluoride-selective electrode, are given. Fluoride concentrations in the studied reservoirs are in the range of 0.09–1.1 mg/dm³ and in most cases do not exceed the maximum allowable concentration of 0.75 mg/dm³. In 83% of cases the concentration of fluoride ions does not exceed background values. A number of hydrochemical anomalies with increased fluoride ion contents relative to the background values were found. Using the methods of flame photometry, spectrophotometry, titrimetry, conductometry and ionometry, the most important hydrochemical characteristics of the investigated samples were determined. The influence of the composition of water on accumulation of fluoride ions is considered. It is shown that the concentration of fluorides varies irrespective of mineralization, pH, Eh, chromaticity, harshness, and content of individual ions: HCO₃⁻, PO₄³⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Calculation of fluoride ion concentrations in equilibrium solutions with fluorite showed that concentrations of fluoride ion can reach much higher values in the range of Ca²⁺ concentrations corresponding to the investigated samples. This fact indicates an insignificant intake of fluoride into the reservoirs of the investigated territories and deposition of its excess quantities coming from the air with sediments in the upper layers of soil. The influence of the mole fraction of calcium and the ratios of the concentrations of Na⁺/Ca²⁺ and Ca²⁺/Mg²⁺ in waters on accumulation of fluoride ions is examined. It has been established that for surface, low-calcium, hydrocarbonate-sodium waters of urbanized territories of Moscow region higher concentrations of fluorine are characteristic, as compared with waters with a relatively high content of calcium.

Keywords: fluoride ion, Moscow region, surface water, urban areas.

Фтор является 13-м по распространённости элементом и относится к микроэлементам, отвечающим за поддержание необходимых количеств фторида кальция в костных тканях и, таким образом, за функции опорно-двигательной системы человека. Предельно допустимая концентрация фторид-ионов в питьевой воде составляет 1,5 мг/дм³ [1], а суточная потребность для человека находится в интервале 0,5–1,5 мг, и на две трети обеспечивается за счёт питьевой воды. Избыточные количества фторид-ионов приводят к флюорозу. Фтор – это один из немногих элементов, необходимое содержание которого отличается от патогенного менее, чем на порядок, что обуславливает необходимость постоянного контроля его концентраций в природных объектах [2].

В работах последних лет на примере участков, прилегающих к крупным автомагистралям Московского региона, показано [3–4], что автотранспорт может служить серьёзным источником загрязнения окружающей среды фторид-ионами. При изучении поверхностных и грунтовых вод бассейна р. Клязьма получены данные о том, что вблизи городских территорий наблюдается повышенное содержание фторид-ионов [5], однако в целом его содержание в водах Московского региона недостаточно изучено.

Целью настоящей работы явилось проведение оценки содержания фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона и изучение возможности формирования фторидных гидрохимических аномалий при антропогенном воздействии.

Материалы и методы исследования

Отбор проб природных вод осуществляли на территории Московского региона, главным образом, в пунктах, приближенных к автомобильным дорогам. Всего в ходе исследования отобрано 58 проб природных вод из 16 водоёмов. В каждом пункте отбирали несколько точечных проб воды на расстоянии 30–70 м друг от друга. На территории г. Мытищи проводили более подробные исследования, было отобрано 16 проб воды из реки Яуза. Пробы отбирали в пластиковую тару объёмом 1,5 дм³ с глубины 0–30 см в соответствии с рекомендациями, приведёнными в [6].

Определение фторид-ионов проводили ионометрическим методом [7] с использованием электродной системы, состоящей из фторид-селективного электрода «ЭЛИТ-221» и вспомогательного хлорид-серебряного электрода «ЭВЛ-1МЗ». Измерение потенциала

фторидного электрода проводили рН-метр/иономером «HANNA-221» с точностью $\pm 0,1$ мВ. Предел обнаружения методики составляет $0,02$ мг/дм³, относительная погрешность методики при содержании фторид-ионов $0,02$ – $1,0$ мг/дм³ – 11% отн., при содержании фторид-ионов $1,0$ – 1900 мг/дм³ – 4% отн.

Химико-аналитическое определение состава вод осуществляли по общепринятым методикам [8]. Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в водах определяли методом фотометрии пламени на фотометре ФПА-2-01. Цветность определяли фотометрическим методом. Определение общей жёсткости и концентрации гидрокарбонат-ионов проводили титриметрическим методом. Фосфат-ионы и ионы аммония определяли фотометрическими методами с использованием молибдата аммония и реактива Несслера на спектрофотометре «Spekol-11». Определение нитрат- и хлорид-ионов проводили ионометрическим методом на рН-метре-иономере «Эксперт-001» с использованием ионоселективных электродов ЭЛИС-121 и ЭЛИС-131 [7].

Определение общей минерализации проводили кондуктометрическим методом [9] с использованием кондуктометра «Эксперт-002».

Результаты и их обсуждение

Данные о содержании фторид-ионов в исследованных образцах воды приведены в таблице 1. Из представленных данных видно, что содержание фторид-ионов в исследованных водоёмах находятся в диапазоне $0,09$ – $1,1$ мг/дм³ и только в единственном случае (р. Яуза, пересечение с Ярославским шоссе) наблюдается превышение предельно допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоёмов – более $0,75$ мг/дм³.

Среднее содержание фторид-ионов в изученных пробах в целом не превышает фоновое значение и составляет $0,23$ мг/дм³, что незначительно отличается от среднего значения для грунтовых вод в зоне умеренного климата ($0,26$ мг/дм³ [11]) и данных работы [5], в которой показано, что фоновое значение концентрации фторид-иона для р. Клязьмы и 28

Таблица 1

Содержание фторид-ионов в поверхностных водах водоёмов Московской области

№ п/п	Водоём	Населённый пункт	Координаты точки отбора проб		Содержание фторид-ионов (n = 3; P = 0,95)
			широта, ° с. ш.	долгота, ° в. д.	
1	Б. Перовский пруд	г. Москва	55.74219	37.79379	0,14±0,02
2	Келарский пруд	г. Сергиев Посад	56.30339	38.12508	0,21±0,01
3			56.30545	38.12823	0,18±0,01
4			56.30615	38.13056	0,26±0,03
5	Левашовский пруд	г. Серпухов	55.94535	37.51849	0,14±0,01
6			55.94906	37.52712	0,14±0,01
7			54.95090	37.53224	0,19±0,01
8	Медвежьё озера	пос. Новый городок	56.52892	37.60773	0,15±0,01
9			55.83661	37.94510	0,16±0,02
10	оз. Белое	г. Москва	55.71996	37.85061	0,14±0,01
11	оз. Черное		55.72388	37.84435	0,14±0,01
12	р. Дубна	д. Сущево	56.57206	37.76010	0,22±0,01
13		д. Вербилки	56.52892	37.60773	0,15±0,02
14		д. Вотря	56.59029	37.52958	0,21±0,01
15	р. Ичка	г. Москва	55.88951	37.71070	0,17±0,03
16			55.88854	37.69053	0,17±0,01
17			55.88480	37.71794	0,17±0,01
18	р. Клязьма	г. Щелково	55.92319	37.99491	0,16±0,02
19			55.91630	38.04810	0,23±0,03
20			55.91153	38.10774	0,16±0,03
21	р. Клязьма	г. Королев	55.93500	37.86778	0,17±0,03
22			55.93139	37.87083	0,09±0,01
23			55.94824	37.87309	0,16±0,02

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Водоём	Населённый пункт	Координаты точки отбора проб		Содержание фторид-ионов (n = 3; P = 0,95)
			широта, ° с. ш.	долгота, ° в. д.	
24	р. Клязьма	д. Обухово	55.83973	38.28399	0,20±0,01
25			55.83945	38.28329	0,16±0,04
26			55.83914	33.28283	0,19±0,04
27	р. Лопасня	г. Чехов	55.14122	37.45095	0,50±0,01
28			55.13928	37.45136	0,58±0,01
29			55.13916	37.45606	0,62±0,01
30	р. Москва	пос. Беседы	55.62276	37.79215	0,26±0,02
31			55.61972	37.79472	0,22±0,01
32			55.61472	37.79555	0,33±0,02
33	р. Нара	д. Любаново	55.72388	37.84435	0,15±0,01
34			56.00958	37.85654	0,17±0,03
35			56.00308	37.86980	0,19±0,01
36	р. Пехорка	г. Балашиха	55.87574	37.99818	0,20±0,03
37	р. Рожайка	с. Молоди	55.16330	37.30350	0,63±0,03
38			55.16390	37.30570	0,69±0,09
39			55.16270	37.31150	0,55±0,03
40	р. Серебрянка	г. Пушкино	55.44548	36.60965	0,17±0,03
41			54.95090	37.53224	0,17±0,01
42			55.44859	36.52642	0,15±0,01
43	р. Яуза	г. Мытищи	55.89802	37.71276	0,11±0,04
44			55.89723	37.72776	0,23±0,03
45			55.74860	37.64333	0,24±0,03
46			55.90960	37.75480	0,25±0,04
47			55.90990	37.75120	0,22±0,01
48			55.90217	37.73148	0,20±0,01
49			55.90834	37.76776	0,22±0,06
50			55.90741	37.74441	0,23±0,03
51			55.90730	37.76891	0,11±0,01
52			55.89472	37.68512	0,28±0,01
53			55.90433	37.73761	0,22±0,01
54			55.90474	37.73834	0,21±0,02
55			55.90210	37.73147	0,23±0,01
56			55.89500	37.68528	0,36±0,02
57			55.89639	37.68611	0,38±0,01
58			55.89694	37.68750	1,10±0,10
ПДК _{рх} [10]					0,75

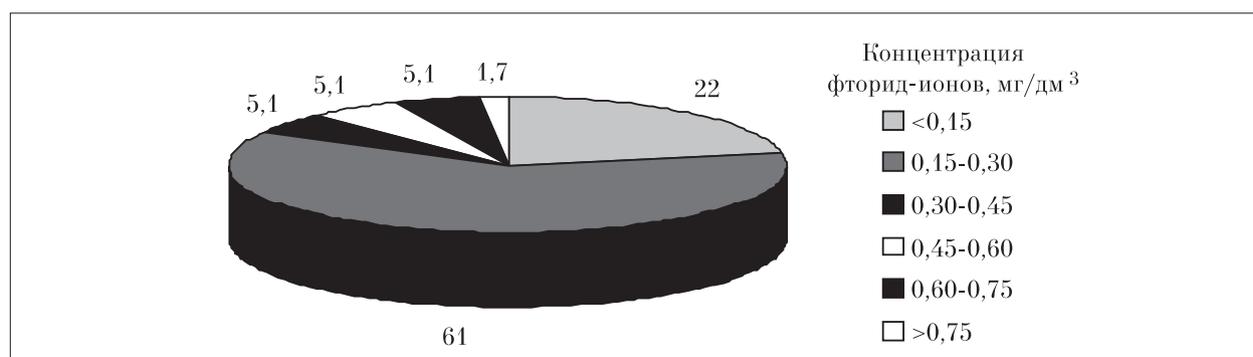


Рис. 1. Доля проб с различными концентрациями фторид-ионов от общего числа исследованных проб

Таблица 2

Важнейшие показатели состава исследованных образцов и коэффициенты их корреляции с содержанием фторид-ионов

Показатель	Ед. изм.	Диапазон значений	Среднее значение	Коэффициент корреляции с содержанием фторид-ионов
Общая минерализация	мг/дм ³	97–900	400	0,35
рН	ед.	5,75–8,60	7,0	-0,14
Еh	мВ	-120–+ 470	405	-0,37
Цветность	град.	20–460	94	-0,17
Общая жёсткость	ммоль/дм ³	0,2–7,6	4,8	0,31
НСО ₃ ⁻	мг/дм ³	60–500	300	0,25
РО ₄ ³⁻	мг/дм ³	<0,05–1,2	0,4	0,14
Сl ⁻	мг/дм ³	1–120	0,03	0,03
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	1,7–22	5,2	0,21
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	<0,04–1,55	0,28	0,36
Na ⁺	мг/дм ³	7–120	35	0,46
K ⁺	мг/дм ³	0,5–74	9,0	0,21
Ca ²⁺	мг/дм ³	12–76	43	-0,21
Mg ²⁺	мг/дм ³	8–41	21	0,36

малых рек Московской области составляет 0,28 мг/дм³. На рисунке 1 приведена диаграмма, отражающая распределение доли проб с различными концентрациями фторид-ионов от общего числа исследованных образцов.

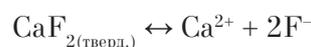
Полученные данные, приведённые на рисунке 1, свидетельствуют, что в 83% случаев концентрация фторид-ионов не превышает фоновых значений. Вместе с тем, обнаружено несколько гидрохимических фторидных аномалий. Содержание фторид-ионов в одной пробе, отобранной из р. Яуза на её пересечении с МКАД, составило 1,1 мг/дм³, по сравнению с другими пятнадцатью пробами, отобранными из этого водоёма на территории г. Мытищи и содержащими 0,11–0,38 мг/дм³ F⁻. Обращают на себя внимание также повышенное содержание фторид-ионов в р. Рожайка (0,55–0,69 мг/дм³) и р. Лопасня (0,50–0,62 мг/дм³). Поскольку на берегах обоих водоёмов ведётся активная сельскохозяйственная деятельность, повышенное содержание фторид-ионов может быть связано с его поступлением в почвы, а затем в воды в результате внесения фосфорных удобрений. Возможно также его накопление в результате выбросов автотранспорта.

Концентрация фторид-ионов в природных водах в существенной мере определяется их компонентным составом. В этой связи нами рассмотрено влияние состава вод на накопление ими фторид-ионов. В таблице 2 представлены данные, характеризующие важнейшие показатели состава исследованных вод, а также приведены коэффициенты корреля-

ции между содержанием фторид-ионов и этими показателями

Судя по низким коэффициентам корреляции ($r < 0,46$), концентрация фторид-ионов изменяется независимо от рН, Еh, цветности, жёсткости и содержания отдельных ионов.

Максимально возможная концентрация фторид-ионов в природных водах в первую очередь определяется концентрацией Ca²⁺ и ограничивается растворимостью флюорита:



Равновесие между флюоритом и водным раствором может быть записано в виде:

$$K_{sp}^0(\text{CaF}_2) = [\text{Ca}^{2+}]f_{\text{Ca}^{2+}}[\text{F}^{-}]^2f_{\text{F}^{-}}^2,$$

где $K_{sp}^0(\text{CaF}_2)$ – произведение растворимости CaF₂, $f_{\text{Ca}^{2+}}$ и $f_{\text{F}^{-}}$ – коэффициенты активности ионов Ca²⁺ и F⁻ соответственно. Решив приведённое уравнение относительно фторид-ионов и подставив в него величину произведения растворимости CaF₂, равную $3,08 \cdot 10^{-11}$ [12], а также пересчитав концентрации из моль/дм³ в мг/дм³ (пренебрегая разницей между активностями и концентрациями ионов), получим следующее уравнение, описывающее зависимость между концентрациями Ca²⁺ и F⁻ в водном растворе, находящемся в равновесии с флюоритом:

$$c\text{F}^{-} = 16,44\sqrt{\frac{1}{c\text{Ca}^{2+}}},$$

где cF^- – концентрация F^- , мг/дм³; cCa^{2+} – концентрация Ca^{2+} , мг/дм³.

Расчёт концентраций фторид-ионов в растворах равновесных с флюоритом показал, что в диапазоне концентраций Ca^{2+} 5–80 мг/дм³, соответствующим его содержаниям в исследованных пробах, концентрации фторид-ионов могут достигать больших значений, чем имеющиеся (рис. 2).

Из данных рисунка 2 следует, что при имеющихся содержаниях Ca^{2+} поверхностные воды придорожных территорий способны накапливать фторид-ионы в концентрациях, по крайней мере, до 2 мг/дм³. Проведённые расчёты свидетельствуют о незначительности поступления фторид-ионов в водоёмы исследованных территорий. Фторид-ионы, поступая в избыточных количествах из воздуха с осад-

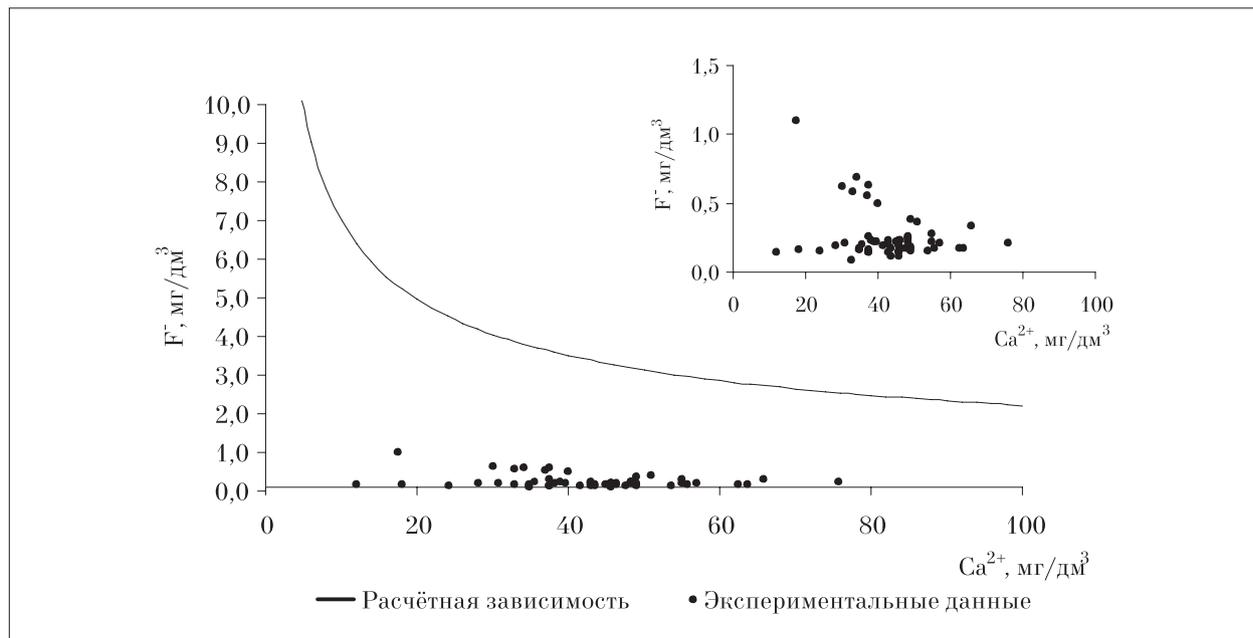


Рис. 2. Значения содержания F^- в зависимости от содержания Ca^{2+} в пробах поверхностных вод Московской области. Расчётная зависимость отвечает содержанию фторид-иона в растворах, равновесных с флюоритом

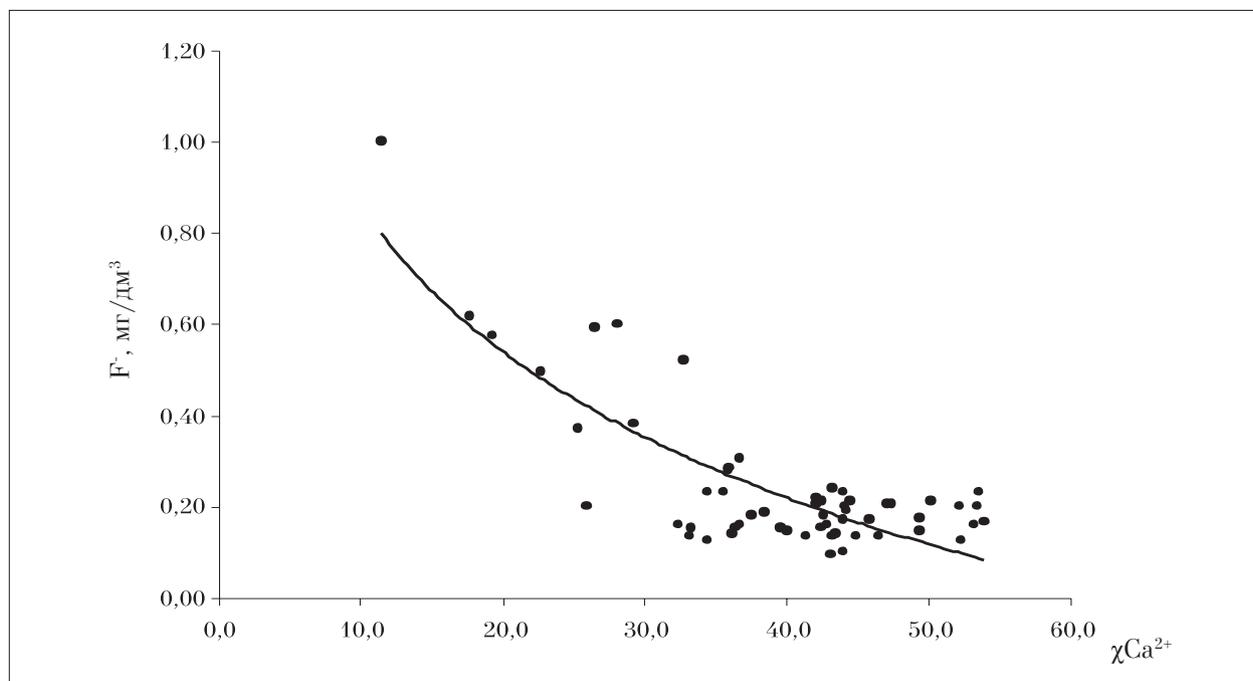


Рис. 3. Зависимость концентрации фторид-ионов в водах от мольной доли Ca^{2+} .
Уравнение зависимости: $c(F^-) = -0,459 \cdot \ln(\chi Ca^{2+}) + 1,9152$; $R = 0,78$

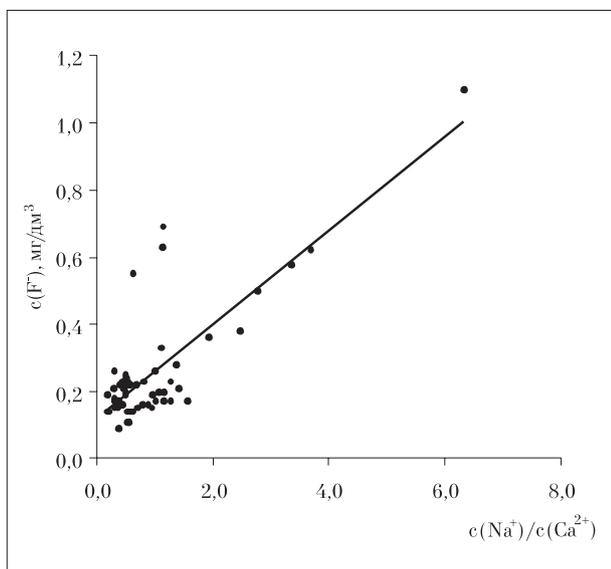


Рис. 4. Зависимость содержания фторид-ионов от отношения концентраций $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ в пробах поверхностных вод Московской области. Уравнение зависимости: $c(\text{F}^-) = 0,1306 \cdot (c(\text{Na}^+)/c(\text{Ca}^{2+})) + 0,1183$; $R = 0,77$

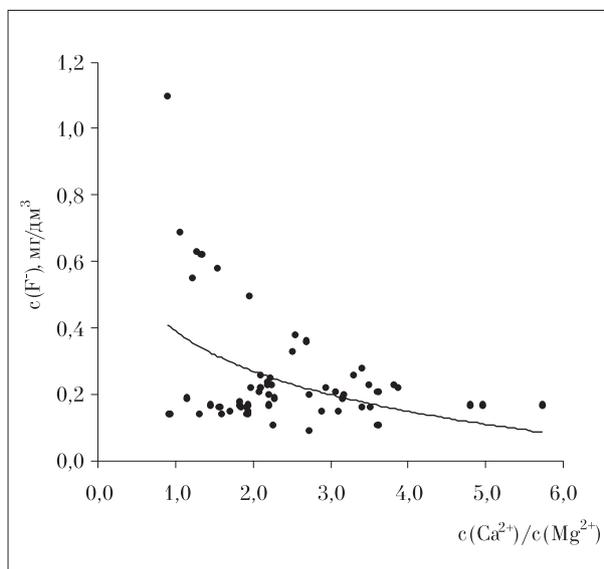


Рис. 5. Зависимость содержания фторид-ионов от отношения концентраций $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ в пробах поверхностных вод Московской области. Уравнение зависимости: $c(\text{F}^-) = -0,142 \ln(c(\text{Ca}^{2+})/c(\text{Mg}^{2+})) + 0,3476$; $R = 0,39$

ками, в результате седиментации или абсорбции растениями и гумусом депонируются в верхних слоях почвы, не мигрируя в водоёмы.

Концентрация фторид-ионов в природных водах в существенной мере зависит от соотношений концентраций важнейших катионов. В этой связи нами рассмотрены зависимости концентраций фторид-ионов от мольной доли ионов кальция и отношений концентраций $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$:

$$\chi_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]} \cdot 100\%.$$

Можно видеть (рис. 3), что среди исследованных вод в основном преобладают воды с существенной или средней долей кальция.

Это содержание соответствует низкому содержанию фторид-ионов. Снижение содержания кальция приводит к некоторому повышению концентрации фторид-ионов, а в одном случае (проба № 58) (Мытищи), мольная доля кальция оказалась незначительной, что привело к резкому увеличению концентрации фторид-ионов в воде (рис. 4). Полученные данные о тесной взаимосвязи между долей кальция в катионном составе вод и содержанием в них фторид-ионов согласуются с данными работы [13], в которой подобная закономерность выявлена на примере вод Обь-Иртышского междуречья.

Менее однозначный характер имеет влияние на концентрацию фторид-ионов соотно-

шений $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (рис. 4–5), которые достаточно часто применяются для анализа причин миграций фторид-ионов в природных условиях.

Заключение

Несмотря на зафиксированное ранее накопление фторид-ионов в природных объектах Московского региона, концентрация фторид-ионов в исследованных водоёмах находятся в диапазоне 0,09–1,1 мг/дм³, и только в единственном случае (р. Яуза, пересечение с Ярославским шоссе) наблюдается превышение предельно допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоёмов (0,75 мг/дм³).

Ответственными за поддержание невысоких концентраций фторид-иона в природных водах являются барьерные функции почв. Для поверхностных малокальциевых гидрокарбонатно-натриевых вод придорожных территорий Московского региона характерны более высокие концентрации фторид-ионов, чем для вод со сравнительно высоким содержанием кальция, что подтверждает известные закономерности гидрохимического поведения фторид-ионов.

Литература

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизован-

ных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2002. 84 с.

2. Selinus O., Alloway B.J. Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2005. 812 p.

3. Петренко Д.Б., Нестеров И.С., Якунина Ю.Н., Новикова Н.Г., Корсакова Н.В., Васильев Н.В. Фтор в почвах придорожных территорий Московской области // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2013. № 4. С. 75–79.

4. Петренко Д.Б., Новикова Н.Г., Дмитриева В.Ю., Нестеров И.С., Корсакова Н.В., Кривман Л.В., Васильев Н.В. Фтор в растениях придорожных территорий Московской области (на примере Ярославского шоссе, г. Мытищи) // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2014. № 5. С. 48–54.

5. Савенко В.С., Зезин Д.Ю., Савенко А.В. Фтор в поверхностных и грунтовых водах бассейна среднего течения р. Клязьмы // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 5. С. 544–552.

6. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

7. ФР.1.31.2005.01774. Методика выполнения измерений водородного показателя (рН), общей жёсткости, массовых концентраций Cl⁻, Br⁻, I⁻, F⁻ и других ионов в водных средах методом потенциометрии. М.: Эконикс-эксперт, 2005. 127 с.

8. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.

9. Atekwana E.A., Atekwana E.A., Rowe R.S., Werkema D.D.Jr., Legalld F.D. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon // Journal of Applied Geophysics. 2004. V. 56. P. 281–294.

10. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

11. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.

12. Garand A., Mucci A. The solubility of fluorite as a function of ionic strength and solution composition at 25 °C and 1 atm total pressure // Marine Chemistry. 2004. V. 91. P. 27–35.

13. Ермолов Ю.В. О содержании фтора в природных водах южной части Обь-Иртышского междуречья // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 319–325.

References

1. SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Moskva, 2002. 84 p. (in Russian).

2. Selinus O., Alloway B.J. Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2005. 812 p.

3. Petrenko D.B., Nesterov I.S., Yakunina Yu.N., Novikova N.G., Korsakova N.V., Vasiliev N.V. Fluoride in roadside soils of Moscow region // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki. 2013. No. 4. P. 75–79 (in Russian).

4. Petrenko D.B., Novikova N.G., Dmitrieva V.Yu., Nesterov I.S., Korsakova N.V., Krigman L.V., Vasiliev N.V. Fluoride in roadside plants of Moscow region (Yaroslavlskoe high-way, Mytishchi) // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki. 2014. No. 5. P. 75–79 (in Russian).

5. Savenko V.S., Zezin D.Y., Savenko A.V. Fluorine in surface and subsoil waters in the Middle Klyaz'ma Basin // Vodnye Resursy. 2014. V. 41. No. 5. P. 556–563 (in Russian).

6. GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling. M.: Standardinform, 2013. 32 p. (in Russian).

7. FR.1.31.2005.01774. Measurement procedure of hydrogen ion exponent (pH), total hardness, mass concentration Cl⁻, Br⁻, I⁻, F⁻ e.a. ions in water solutions by potentiometry. Moskva: Ekonics-ekspert, 2005. 127 p. (in Russian).

8. Unified methods for water analysis / Ed. Yu. Yu. Lurie. M.: Chimia, 1973. 376 p. (in Russian).

9. Atekwana E.A., Atekwana E.A., Rowe R.S., Werkema D.D.Jr., Legalld F.D. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon // Journal of Applied Geophysics. 2004. V. 56. P. 281–294.

10. Order of the Federal Fishery Agency of 18.01.2010 № 20 “On the approval of water quality standards for water bodies of fishery value, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance” (in Russian).

11. Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of the hypergenesis zone. Moskva: Nedra, 1998. 366 p. (in Russian).

12. Garand A., Mucci A. The solubility of fluorite as a function of ionic strength and solution composition at 25 °C and 1 atm total pressure // Marine Chemistry. 2004. V. 91. P. 27–35.

13. Yermolov Yu.V. On the content of fluorine in natural waters of the southern part of the Ob-Irtysh interfluvium // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2009. No. 2. P. 319–325 (in Russian).

Альгосинузии пойменных лугов на техногенной территории

© 2017. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор, с. н. с.,
Е. В. Дабах^{2,3}, к. б. н., доцент, с. н. с.,

¹ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
e-mail: ecolab2@gmail.com

Изучена реакция почвенных водорослей и цианобактерий (ЦБ) пойменных луговых экосистем в окрестностях хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка Кировской области на техногенное загрязнение почв. Вследствие нарушения герметичности хвостохранилищ загрязняющие вещества просачивались в подземные воды и влияли на качество воды в пойменных озёрах. Для снижения минерализации вод было предложено использовать поглощательную способность почв и растений в отношении ионов азотной группы. С этой целью проводился эксперимент по поливу опытного полигона – пойменного луга – богатой азотом водой из озера. Этот полив сопровождался резким увеличением концентрации минерального азота в почве и возрастанием кислотности почв. Под влиянием техногенной нагрузки происходило уменьшение видового разнообразия микрофототрофов, перестройка структуры фототрофного блока, заключающаяся в исчезновении азотфиксирующих ЦБ, одноклеточных жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Затопление почв понижений паводковыми водами и поступление азота с поливными водами отражалось на таксономической и экологической структуре микрофототрофов. Экологическая структура альгофлоры почв повышенных участков пойменного луга с высоким содержанием азота характеризовалась преобладанием видов-убиквистов, а в понижениях – гидрофильных видов. При поливе рекомендованными дозами азота (400 кг/га) происходила стимуляция развития высших растений, и плотный растительный покров подавлял развитие водорослей и ЦБ. При избыточном внесении азота высшие растения отмирали, на свободных участках почвы появлялись куртины мха *Bryum capillare* Hedw., видовое разнообразие водорослей резко снижалось, развивались зелёные водоросли и солевывосливые диатомеи.

Ключевые слова: техногенная территория, азотное загрязнение, видовое разнообразие альгофлоры, экологическая структура альгофлоры.

Algosynusiae of floodplain meadows in the technogenic territory

L. V. Kondakova^{1,2}, E. V. Dabakh^{2,3},
¹ Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

³ Vyatka State Agricultural Academy,
133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: ecolab2@gmail.com

The reaction of soil algae and cyanobacteria (CB) of flooded meadow ecosystems in the vicinity of the tailing dumps of chemical enterprises of the town of Kirovo-Chepetsk in Kirov region to technogenic pollution of soils has been studied. Due to breach of tightness of tailing dumps, contaminants seeped into groundwater and affected the quality of water in floodplain lakes. To reduce water mineralization, it was suggested to use soils and plants capacity to absorb ions of the nitrogen group. For this purpose, an experiment was conducted to irrigate an experimental polygon – floodplain meadow – with nitrogen-rich water from the lake. This irrigation was accompanied by a sharp increase in concentration of mineral nitrogen in the soil, as well as an increase in soil acidity. Under the influence of anthropogenic load, the microphototropes species diversity decreased, the structure of the phototrophic block was rearranged, which consisted in disappearance of nitrogen fixing CB, unicellular yellow-green, and eustigmatophyte algae. Flooding of soils in low places with flood waters, as well as nitrogen supply with irrigated waters, was reflected

in taxonomic and ecological structure of microphototrophs. The ecological structure of soil algaeflora of elevated areas of floodplain meadow with a high nitrogen content was characterized by predominance of ubiquitous species, and in depressions by predominance of hydrophilic species. When watering with recommended doses of nitrogen (400 kg/ha), the development of higher plants was stimulated, and dense vegetation cover suppressed algae and CB growth. With excessive nitrogen deposition, higher plants died off, clumps of moss *Bryum capillare* Hedw. appeared on free soil areas. The species diversity of algae decreased sharply, green algae and salt-tolerant diatoms developed.

Keywords: technogenic territory, nitrogen pollution, species diversity of algaeflora, ecological structure of algaeflora.

Видовое разнообразие естественных природных сообществ является важнейшим параметром для контроля состояния территорий, испытывающих техногенную нагрузку. Наличие в среде посторонних для неё веществ или веществ естественных, но в повышенной концентрации, приводит к преобладающему росту наиболее устойчивых к ним видов и подавлению наиболее чувствительных форм [4]. В частности, длительные антропогенные воздействия приводят к закреплению и стабилизации возникших изменений в составе почвенных микроорганизмов. Водоросли и цианобактерии (ЦБ) являются постоянными компонентами почвенных микробценозов и широко используются в качестве индикаторов состояния почвенной среды. Под влиянием техногенной нагрузки в составе альгофлоры происходят изменения видового разнообразия, структуры альгогруппировок, состава доминирующих комплексов, соотношения жизненных форм, отражающих экологическую характеристику среды [2–7].

Например, техногенная нагрузка в окрестностях предприятий по производству минеральных удобрений включает загрязнение окружающей среды биофильными элементами, действие которых на живые организмы неоднозначно. Минеральные удобрения влияют на почвенные организмы как непосредственно – за счёт поступления в среду определённых элементов и изменения активной реакции почвенного раствора, так и косвенно, – через усиление роста высших растений, увеличение массы корневых остатков и изменение состава и количества корневых выделений.

Реакция водорослей и ЦБ на минеральные удобрения многообразна в зависимости от плодородия почвы, дозы и формы удобрений. Производственные дозы минеральных удобрений, как правило, не изменяют видовой состав альгофлоры [8], но при этом наблюдается неодинаковая реакция видов микрофототрофов разных систематических групп на вносимые удобрения. Наиболее отзывчивы на удобрения зелёные водоросли (*Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Actinochloris*). Высокие дозы азотных удобре-

ний оказывают токсическое действие на ЦБ [9, 10]. Угнетение азотфиксации ЦБ проявляется уже при внесении аммонийного азота в дозе 50 кг/га [11].

Групповой анализ фототрофных микробных сообществ «цветения» почвы предложен как перспективный метод для экспресс-диагностики её состояния [5]. Биологическое благополучие почвы можно установить по наличию полночленности фототрофной микробной ассоциации на её поверхности. Полночленность сообщества микрофототрофов характеризуется наличием всех экоморфологических групп: одноклеточных зелёных и жёлтозелёных водорослей, нитчатых зелёных и жёлтозелёных водорослей, диатомей, безгетероцистных и гетероцистных ЦБ. О надвигающемся биологическом неблагополучии почвы свидетельствует тот факт, что в составе сообщества доминирует какая-то группировка. Исчезновение из наземных сообществ фототрофов азотфиксирующих ЦБ является признаком его нарушения.

Целью исследования являлось изучение реакции почвенных микрофототрофов на загрязнение почв в окрестностях хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка.

Объекты и методы исследования

Исследуемая территория расположена на северо-востоке Европейской части России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Климат континентальный умеренный, среднегодовая температура составляет +2,4 °С. Территория относится к зоне достаточного увлажнения: среднегодовое количество осадков – 580 мм, 60–70% выпадает в теплое время года. Исследования проводились на пойменном лугу в долине р. Вятки в районе хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка, где в качестве дополнительных факторов почвообразования следует рассматривать затопление территории во время весеннего паводка и поступление с полыми водами свежего материала, близкое

залегание грунтовых вод и техногенное воздействие.

Почвы на повышенных участках рассматриваемого луга (на гривах) – аллювиальные дерновые, в межгривных понижениях – аллювиальные перегнойно-глеевые. Длительность и интенсивность паводка влияют на вегетационный период, на характер растительности и процесс разложения растительных остатков, на микрофлору.

Вследствие нарушения герметичности хвостохранилищ загрязняющие вещества просачивались в подземные воды и влияли на качество воды в пойменных озёрах. Высокая минерализация подземных и поверхностных вод в этом районе связана, прежде всего, с накоплением нитрата аммония [12]. Поскольку почвы на пойменных лугах характеризовались низким содержанием азота, было предложено использовать их поглонительную способность в отношении ионов азотной группы для снижения минерализации фильтрующихся вод [13]. По аналогии с внесением жидких азотных удобрений на опытном полигоне с 2011 по 2015 гг. осуществлялись экспериментальные работы по утилизации богатой азотом воды из пойменного озера на почвы грив и межгривных понижений.

На рисунке 1 представлена схема расположения луга относительно водных объек-

тов и участки отбора проб в межгривных понижениях.

Рекомендуемая нами доза полива составляла 400 кг азота на 1 га. Вследствие высокой естественной неоднородности почв в пойме, а также нарушения регламента полива, различия в содержании азота в почвах оказались очень значительными.

Контрольный участок располагался в северо-восточной части луга на аллювиальных дерновых почвах и подвергался воздействию всех указанных выше факторов за исключением дополнительного поступления азота с поливными водами.

В процессе эксперимента проводился отбор почвенных образцов для химического и микробиологического анализа. Смешанные образцы почв отбирали с однородных площадок размером около 5 м² методом конверта. Химические показатели определяли общепринятыми методами: кислотность в водной и солевой вытяжках – потенциметрически [14], нитратный азот – фотометрически [15], аммонийный азот – фотометрически с реактивом Несслера [16].

Почвенные пробы для альгологического анализа отбирали с глубины 0–5 см. Макроскопически заметные поверхностные разрастания водорослей и ЦБ отбирали на участках пойменного луга, отличающихся по положе-

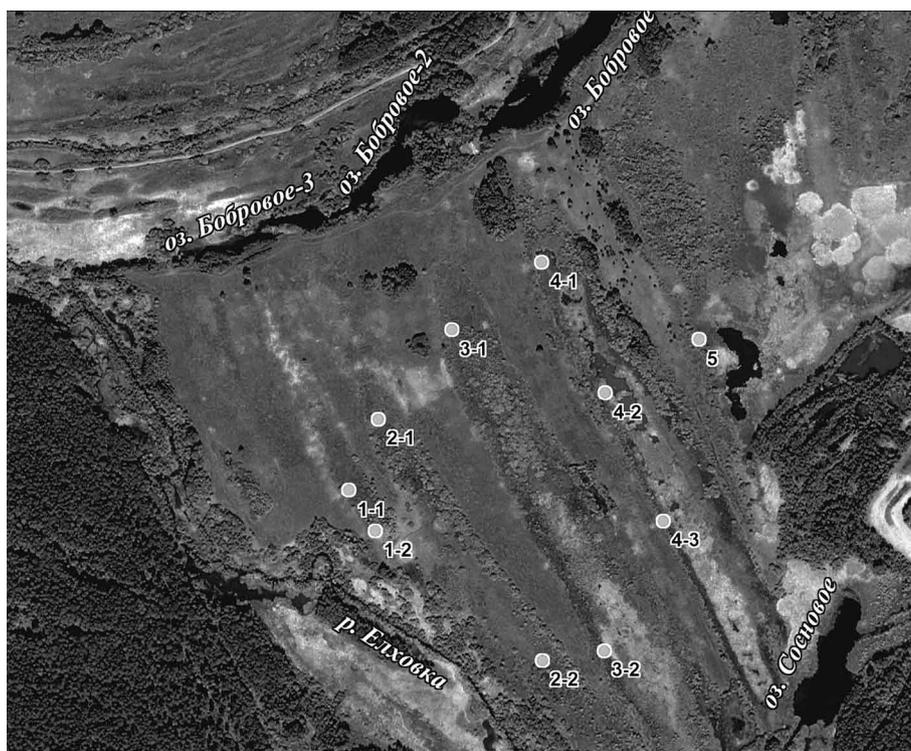


Рис. 1. Участки отбора почвенных образцов в межгривных понижениях на пойменном лугу

нию в рельефе: на склонах и в межгрядных понижениях.

Изучение видового разнообразия проводили методом чашечных культур со стеклами обростания и микроскопированием свежеснятой почвы, экологический анализ альгофлоры – по жизненным формам [2].

Результаты и обсуждение

В почвах на пойменных гривах после половодья восстанавливается промывной режим, характерный для данной природной зоны. Полив опытного полигона богатой NH_4NO_3 водой из озера сопровождался резким увеличением концентрации минерального азота в почве и возрастанием кислотности (табл. 1). За два года после полива концентрация аммонийного и нитратного азота снизилась, однако кислотность осталась на прежнем уровне.

Таким образом, по сравнению с контрольным участком, после внесения высоких доз нитрата аммония дополнительным негативным фактором воздействия на биоту стала повышенная кислотность почв. Реакция фототрофного компонента микробиоты на изменившиеся условия среды приведена в таблице 2. Наибольшее видовое разнообразие и полночленная группировка альгофлоры отмечена на участке без полива (контроль). В течение двух лет количество видов на данном участке было в 2 раза выше по сравнению с экспериментальным участком. По видовому разнообразию в почвах сравниваемых участков преобладали зелёные водоросли, различия касались представителей ЦБ, жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Азотфиксирующая ЦБ *Nostoc paludosum* была выявлена только на участке без полива. Число видов безгетероцистных ЦБ на экспериментальном участке было минимальным, при

Таблица 1
Содержание минеральных соединений азота в почвах пойменного луга, мг/кг

Место и время отбора проб		N-NH ₄	N-NO ₃	pH _{соч.}
Контрольный участок	2015 г.	14,4±1,4	2,5±0,5	4,8±0,1
Экспериментальный участок (14)	2015 г.	687±60	186±14	3,3±0,1
	2016 г.	495±45	55±4	3,3±0,1

Таблица 2
Количество видов водорослей и ЦБ в почвах контрольного и экспериментального участков пойменного луга

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль 2015 г.	10	10	6	2	28
Контроль 2016 г.	9	10	5	5	29
14 – 2015 г.	1	10	0	3	14
14 – 2016 г.	2	7	0	5	14

Таблица 3
Количество видов водорослей и ЦБ на участках пойменного луга с умеренным и избыточным поливом

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль	9	10	5	5	29
Умеренный полив	3	6	2	6	17
Избыточный полив	0	7	0	1	8

Таблица 4
Количество видов водорослей и ЦБ на участках пойменного луга с плотным растительным покровом

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль	9	10	5	5	29
Умеренный полив – вейниковая ассоциация	0	4	0	0	4
Умеренный полив – пырейная ассоциация	0	4	1	2	7

Таблица 5

Экологическая структура альгофлоры на повышенных участках пойменного луга

Участок	Формула экобиоморф
Контроль	$P_8 H_6 B_5 Ch_5 X_4 CF_2$
Умеренный полив	$Ch_4 B_3 CF_2 C_2 H_2 hydr_2 P_1 X_1$
Избыточный полив (участок 14)	$Ch_3 X_3 C_1 H_1 hydr_1$
Избыточный полив (участок 27)	$Ch_6 H_1 X_1$
Умеренный полив (вейник)	$Ch_3 X_1$
Умеренный полив (пырей)	$Ch_2 B_2 C_2 X_1 H_1$

прямом микроскопировании свежей почвы они не были отмечены, однако развивались в культуре после месяца инкубирования. Представители видов жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей на экспериментальном участке отсутствовали.

Таким образом, на протяжении двух лет количество видов водорослей на участке с избыточным содержанием азота было в 2 раза ниже по сравнению с контролем.

При умеренном поливе, когда содержание аммонийного азота в почвах составляло от 15 до 33 мг/кг, нитратного – от 10 до 27 мг/кг, а кислотность увеличивалась незначительно – на 0,3 ед. рН и составляла 4,5, отмечалось увеличение биомассы высших растений, плотности травостоя, а в ботанической структуре травостоя возрастала доля злаковых видов [17]. На участке луга с умеренным поливом богатой азотом водой видовое разнообразие альгофлоры было ниже, чем на контрольном участке, но выше по сравнению с участками с интенсивным поливом (табл. 3). На участке с избыточным поливом после отмирания высшей растительности на поверхности почвы развивались куртины мха (*Bryum capillare* Hedw.), из водорослей были отмечены: *Chlorococcum infusionum*, *Chlorella vulgaris*, *Ch. minutissima*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Coccomyxa dispar*, *Tetracystis aggregate*, *Klebsormidium rivulare*, *Pinnularia borealis*.

В связи с этим второй аспект сравнительной оценки влияния внесения аммонийного и нитратного азота в жидком виде на биоту заключался в анализе роли высшей растительности в развитии почвенной альгофлоры. На участках с мощным покровом злаков низкое разнообразие видов обусловлено высокой конкуренцией водорослей и ЦБ с высшими растениями (табл. 4). Под зарослями вейника (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) были выявлены только зелёные водоросли: *Chlorococcum infusionum*, *Chlorella vulgaris*, *Myrmecia bisecta*, *Pseudococcomyxa simplex*. В пырейной ассоциации (*Agropyron repens* Beauv.) отмечены *Ch. in-*

fusionum, *Chlorella minutissima*, *Ch. vulgaris*, *P. simplex*, *Navicula pelliculosa*, *Hantzschia amphioxys*, *Tribonema aequale*.

Степень влияния комплекса природных и антропогенных факторов среды отражает экологическая структура альгофлоры (табл. 5). В варианте без полива (контроль) преобладают виды P-, H-, B-жизненных форм – безгетероцистные ЦБ, тяготеющие к свободным участкам почвы, нитчатые зелёные и желтозелёные водоросли и диатомовые. При умеренном и избыточном поливе на первое место выходят виды-убииквисты (Ch-). Умеренный полив стимулирует развитие высших растений, при этом ухудшаются условия обитания для водорослей и ЦБ.

Межгрядные понижения пойменного луга было предложено использовать как биоплато, в котором, благодаря высокой поглотительной способности почв, донных отложений, а также наземно-водных растений, происходит снижение концентрации азота в растворах. Вода из обогащённых соединениями азота слоёв озера подавалась на обводнённую часть понижения. Это приводило к временному повышению концентрации азота в воде, в почвах и в донных осадках экспериментальных участков [18].

В таблице 6 представлены сведения о времени полива (поступления азота в понижения), а также результаты определения в почвах нитрат-ионов и ионов аммония. Наиболее высокое содержание минерального азота отмечалось в 4 понижении на участке, где подача воды осуществлялась на обводнённую часть длительное время в два срока. В 1, 2 и 3 понижениях содержание азота в почвах распределено неравномерно, что связано с рельефом, характером растительности, пестротой почв, а также длительностью затопления участка. Наиболее низкие концентрации минерального азота выявлены в 3 понижении, сходные значения характерны для образцов 1-2 и 2-2, которые расположены в непосредственной близости от р. Елховки и подвержены ежегодному затоплению. Максимальное

Таблица 6

Характеристика участков отбора образцов почв

№ понижения	Место отбора образцов	Время полива	Содержание, мг/кг	
			N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
1	1-1	Не поливалось	42,0±3,8	52,6±3,9
	1-2	Не поливалось	5,0±0,5	19,5±1,5
2	2-1	Не поливалось	5,0±0,5	13,1±1,0
	2-2	Не поливалось	22,5±2,0	29,1±2,2
3	3-1	Не поливалось	5,0±0,5	4,5±0,9
	3-2	Не поливалось	5,0±0,5	3,9±0,8
4	4-1	Полив в 2013 г.	232±21	85±6
	4-2	Полив в 2015 г.	30,1±2,3	22,0±1,7
	4-3	Полив в 2013 и в 2015 г.	469±40	117±9
5	5	Полив 2014 г.	218±20	86±6

Таблица 7

Количество видов микрофототрофов на участках мониторинга (июнь 2016 г.)

Участок	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta	Bacillariophyta	Euglenophyta	Всего на участке
1-1	1	2	1	5	0	9
1-2	5	1	0	5	0	11
2-1	1	2	1	4	0	8
2-2	1	4	1	5	0	11
3-1	2	1	0	4	0	7
3-2	3	2	0	4	1	10
4-1	1	4	1	4	1	11
4-2	1	3	1	3	0	8
4-3	0	2	0	0	0	2
5	3	3	0	5	0	11
Всего видов	9	10	2	10	2	33

содержание азота на условно «чистых» участках понижений отмечено в образце 1-1 и связано, по-видимому, с поверхностным стоком загрязнённых вод с поливаемого повышенного участка луга, где также проводилась утилизация богатых азотом вод.

В исследуемых образцах почв, отобранных в июне 2016 г., выявлено 33 вида почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. *Cyanobacteria* – 9 (27,3%), *Chlorophyta* – 10 (30,3%), *Xanthophyta* – 2 (6,1%), *Bacillariophyta* – 10 (30,3%), *Euglenophyta* – 2 (6,1%) (табл. 7).

Азотное загрязнение отразилось на таксономической структуре сообществ почвенных водорослей и ЦБ – видовое разнообразие микрофототрофов невысокое. Представители основных отделов почвенной альгофлоры отмечены на участках без полива – 1-1, 2-1, 2-2, и на поливаемых участках 4-1, 4-2. Структура альгогруппировок нарушена на участке 4-3, в почве которого были выявлены 2 вида зелёных водорослей (*C. infusionum*, *Chlamydomonas*

gloeogama) и не отмечены представители других отделов. В почвах исследуемых участков ЦБ представлены безгетероцистными видами: *Leptolyngbya angustissima*, *L. foveolarum*, *L. frigidum*, *L. fragile*, *Pseudanabaena catenata*, *Plectonema boryanum*, *Phormidium corium*, *Oscillatoria animalis*. Гетероцистная ЦБ *Nostoc paludosum* выявлена только на участке 3-2. Отмечены представители зелёных водорослей: *Chlamydomonas gloeogama*, *Ch. gelatinosa*, *Ch. infusionum*, *Closterium* sp., *Cosmarium anceps*, *Chlorella vulgaris*, *Klebsormidium flaccidum*, *K. rivulare*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scotiellopsis levicostata*. Одноклеточные жёлтозелёные водоросли, чувствительные к загрязнению, не выявлены. На пяти участках отмечена нитчатая жёлтозелёная водоросль – *Tribonema minus*. Высокая влажность почв в межгрядных понижениях способствовала интенсивному развитию диатомовых водорослей: *Nitzschia palea*, *Navicula pelliculosa*, *Pinnularia viridis*, *Gyrosigma acuminatum* и др. На участках 3-2

Видовой состав альгофлоры пойменных понижений

Отдел, вид	№ понижения									
	1		2		3		4		5	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria										
<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G. S. West) Anagn. et Kom.	+	+								
<i>L. foveolarum</i> (Ramben. ex Gom.) Anagn. et Kom.	+	+								
<i>L. frigida</i> (Fritsch) Anagn. et Kom.	+	+			+				+	
<i>L. fragilis</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	+								+	
<i>Nostoc paludosum</i> (Kütz.) Hariot					+					
<i>Oscillatoria animalis</i> Ag. ex Gom.					+					
<i>Oscillatoria</i> sp.					+					
<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.		+								
<i>Ph. aerugineo-coeruleum</i> (Gom.) Anagn. et Kom.		+								
<i>Ph. boryanum</i> Kütz.		+	+							
<i>Ph. formosum</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom.		+								
<i>Ph. uncinatum</i> (Ag.) Gom.		+								
<i>Ph. jadinianum</i> Gom.		+								
<i>Ph. corium</i> (Ag.) Gom.		+					+			
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterbom					+				+	
Chlorophyta										
<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova		+								
<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pascher var <i>gloeogama</i>	+	+				+		+		
<i>Chl. gelatinosa</i> Korsch. in Pascher	+									
<i>Chl. oblongella</i> Lund								+		
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer var <i>vulgaris</i>		+	+		+		+	+		
<i>Ch. minutissima</i> Fott et Novakova								+		+
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	+	+		+			+	+	+	+
<i>Coccomyxa dispar</i> Schmidle						+				
<i>Closterium pusillum</i> Hantzsch in Rabenhorst				+						
<i>Closterium</i> sp.								+		
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) Silva et al			+		+			+		+
<i>Klebsormidium nitens</i> (Menegh. in Kütz.) Lokhorst		+								
<i>Klebsormidium rivulare</i> (Kütz.) comb. nova		+	+							
<i>Lobomonas rostrata</i> Hazen									+	
<i>Macrochloris dissecta</i> Korsch.		+						+		
<i>Mesotaenium macrococcum</i> (Kütz.) Roy et Bissett		+				+				
<i>Microthamnion kuetzingianum</i> Nageli		+								
<i>Planktosphaeria maxima</i> Bischoff et Bold		+						+		
<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott						+		+		
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brebisson sensu Chodat					+					
<i>Scotiellopsis levicostata</i> (Holler.) Puncoccharova et Kalina		+						+		
<i>Stichococcus minor</i> Nageli								+		+
Bacillariophyta										
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenhorst						+		+	+	+
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr) Grun. in Cleve et Grun				+	+					+
<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.				+		+				
<i>Navicula atomus</i> (Kütz.) Grunow										+
<i>N. pelliculosa</i> (Breb.) Hilse		+	+			+	+	+	+	
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith	+	+	+	+	+	+		+	+	+

Отдел, вид	№ понижения									
	1		2		3		4		5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Pinnularia viridis</i> Ehr.		+		+		+		+		+
<i>P. borealis</i> Ehr.				+						
<i>P. intermedia</i> Lagerst.				+		+		+		+
<i>P. mesolepta</i> Ehr.								+		+
<i>P. subcapitata</i> Gregory						+				
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.										+
Ochrophyta										
<i>Bumilleria klebsiana</i> Pasch.								+		
<i>Pleurochloris lobata</i> Pasch.		+								
<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i> Pasch.	+									
<i>Tribonema aequale</i> Pasch.				+						
<i>Tribonema minus</i> (Klebs) Hazen	+		+			+	+	+		+
<i>Xanthonema exile</i> (Klebs) Silva		+			+					
<i>X. bristoliana</i> (Pasch.) Silva			+							
Euglenophyta										
<i>Euglena mutabilis</i> Schmitz								+	+	
<i>Phacus</i> sp.					+			+		
Всего:	10	26	9	8	9	13	6	21	8	13

Примечание: 1* – пробы, отобраны в июне 2016 г., 2** – пробы отобраны в августе 2016 г.

и 4-1 развивались представители эвгленовых водорослей – *Euglena mutabilis*, *Phacus* sp. На условно «чистых» участках 1-2 и 2-2, а также на участке, где полив производился только в течение одного сезона (4-1), в структуре альгогруппировок присутствуют представители всех основных отделов почвенных водорослей и ЦБ, хотя их видовое разнообразие невелико.

Почвенные пробы отбирались не только в июне, но и в августе 2016 г. Во время высокого весеннего паводка луг был полностью затоплен, и в июне вода ещё стояла в наиболее глубоких частях понижений. В августе участки пробоотбора были относительно сухими. В почвах пойменных понижений луга отмечена более богатая альгофлора. Выявлено 48 видов почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. Cyanobacteria – 10 (20,8%), Chlorophyta – 18 (37,5%), Xanthophyta – 6 (12,5%), Bacillariophyta – 12 (25%), Euglenophyta – 2 (4,2%) [18].

В целом, в почвах понижений было выявлено 58 видов почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. Cyanobacteria – 15 (25,9%), Chlorophyta – 22 (37,9%), Xanthophyta – 7 (12,1%), Bacillariophyta – 12 (20,7%), Euglenophyta – 2 (3,4%), причём в июньских пробах отмечено 33 вида фототрофов, в августе – 48.

Альгофлора понижений по видовому разнообразию значительно различалась. За ис-

ключением 2-го понижения в июньских пробах видовое разнообразие было существенно ниже, особенно в 1 и 4 понижениях. По числу видов преобладали зелёные водоросли, доминирующие в почвах лесной зоны. Согласно литературным данным [19], зелёные водоросли отзывчивы на азотные удобрения и способны переносить значительные их концентрации. В почвах понижений большую роль играют диатомовые водоросли: они отмечены во всех пробах. В понижениях их видовое разнообразие выше, чем на гривах [18], они интенсивно развиваются в чашечных культурах. Среди диатомей отмечены гидрофильные виды: *Pinnularia viridis*, *P. mesolepta*, *Gyrosigma acuminatum*, *Tabellaria fenestrata*. Доминантами сообществ являлись: *Pinnularia subcapitata*, *P. viridis*, *Navicula pelliculosa*, *Nitzschia palea*. Наибольшее количество видов ЦБ отмечено в июньских пробах почв из 1-го и 3-го понижений, в пробах, отобранных в августе, ЦБ были выявлены только в 1-м понижении, причём количество видов увеличилось с 4 до 10 (табл. 8).

Альгосинузии пойменных почв формируются под действием мощного экологического фактора – паводка, который не только обуславливает повышение влажности, но и вносит в почву многие виды водных водорослей [20]. Эвгленовые водоросли отмечены в пробах из 3-го и 4-го понижений. В почвах 4-го пони-

жения, наиболее насыщенных минеральными соединениями азота, наблюдали интенсивное развитие водоросли *Euglena mutabilis*. Имеются данные о способности эвглен выдерживать высокие концентрации азота [21].

Экологическая структура альгофлоры почв понижений отражает степень влияния факторов: избыточного увлажнения и высокой концентрации азота (табл. 9).

В экологической структуре альгофлоры почв понижений на первое место выходит В-форма, представленная диатомовыми водорослями, требовательными к увлажнению и, кроме того, устойчивыми к высокой концентрации солей. Сh-форма, включающая виды, отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, особенно характерна для почв 1-го и 4-го понижений. В целом, следует отметить невысокое видовое разнообразие микрофототрофов, отсутствие азотфиксирующих ЦБ на участках с высоким содержанием азота, изменение экологической структуры альгосинузий в зависимости от факторов среды.

Во время паводка влияние поверхностных водных объектов: р. Елховки и оз. Бобровое-2 на 1-е и 4-е понижение, соответственно, более существенно, чем на остальные относительно изолированные понижения. Можно предположить, что рост видового разнообразия в августе связан с приносом водных видов во время паводка. Следовательно, в оценке воздействия на альгофлору фактор паводка можно рассматривать как приоритетный по сравнению с избыточным содержанием азота в субстрате.

В условиях разреженного растительного покрова как на пойменных гривах, так и в понижениях отмечается интенсивное размножение водорослей и ЦБ на поверхности почвы, так называемое «цветение» почв, которое свидетельствует об активной жизнедеятельности видов в благоприятных условиях среды. Размножение микрофототрофов на поверхности почвы зависит от многих факторов: типа почвы, влажности, света, наличия питательных веществ, отсутствия конкуренции с высшими растениями и др. В естественных условиях для «цветения» почвы характерна сезонная смена группировок. Видовой состав альгофлоры при «цветении» используется в биоиндикационной оценке состояния почв. В поверхностных разрастаниях луговых участков выявлено 23 вида почвенных водорослей и ЦБ (табл. 10).

На участке 19 с наиболее низкими концентрациями азота в почвах структура поверхностных разрастаний включает представителей всех основных отделов почвенных водорослей. В составе группировок преобладают зелёные водоросли (13 видов), диатомовые (3 вида), встречаются жёлтозелёные (*Botrydiosis eriensis*) и ЦБ (*Leptolyngbya foveolarum*, *Phormidium boryanum*). В почвах межгривного понижения видовое разнообразие в плёнке цветения представлено 8 видами, в том числе 5 видов – зелёные водоросли, по одному виду из отделов жёлтозелёных и диатомовых водорослей. В структуре сообщества отсутствуют ЦБ. На лугу с высокими концентрациями азота в почвах (участок 27) структура альгосообщества нарушена. Отмечены представите-

Таблица 9

Экологическая структура альгофлоры почв понижений

№ понижения	Характеристика понижений	Формулы экибиоморф
1	Небольшое по площади плоское понижение, ежегодно затопляемое со стороны р. Елховки, не поливалось.	$P_{11} Ch_6 H_5 B_3 X_3 C_2 hydr_2 amph_1$
2	Обширное понижение, затопление которого начинается с юга со стороны р. Елховка, не поливалось, поверхностный сток с поливаемых участков грив.	$B_6 H_5 Ch_2 hydr_2 P_1$
3	Обширное, неглубокое понижение, связанное в паводок с оз. Бобровым-2, не поливалось.	$B_6 hydr_4 H_3 P_2 X_2 CF_1 C_1 Ch_1 amph_1$
4	Глубокое и наиболее обводнённое понижение, связанное во время паводков с оз. Бобровое 1 и оз. Сосновое, поливалось.	$B_5 Ch_5 H_4 X_4 hydr_4 C_2 P_1 amph_1$
5	Обширное, заросшее кустарником понижение, обводнённое, но относительно изолированное от озёр, поливалось.	$B_6 hydr_4 H_3 Ch_3 C_2 X_2 P_1$

Таблица 10

Видовой состав поверхностных разрастаний водорослей и цианобактерий луговых фитоценозов

№ п/п	Название видов	Участки мониторинга		
		19 С-В склон гряды, умеренный полив	Межгрядное понижение	27 Ю-З склон гряды, избыточный полив
Cyanobacteria				
1	<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Rabenh. et Gom.) Anagn. et Kom.	+		
2	<i>Phormidium boryanum</i> Kütz.	+		+
Chlorophyta				
3	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	+		
4	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pasch. var. <i>gloeogama</i>	+	+	+
5	<i>Chlorella minutissima</i> Fott et Novakova			+
6	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.	+		+
7	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	+	+	+
8	<i>Chloroplana terricola</i> Hollerb.	+		
9	<i>Closterium pusillum</i> Hantzsch in Raben.	+		
10	<i>Cosmarium anceps</i> Lund.	+		
11	<i>Cosmarium cucumis</i> (Corda) Ralfs	+		
12	<i>Gongrosira debaryana</i> Rabenh.	+		
13	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) Silva et al.	+	+	+
14	<i>Klebsormidium rivulare</i> (Kütz.), comb. nova	+	+	+
15	<i>Macrochloris dissecta</i> Korsch.			+
16	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+		
17	<i>Stichococcus minor</i> Näg.	+	+	+
Xanthophyta				
18	<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi		+	
19	<i>Botrydiopsis eriensis</i> Snow	+		
Bacillariophyta				
20	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun.	+		
21	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith		+	
22	<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	+		
Euglenophyta				
23	<i>Euglena mutabilis</i> Schmitz		+	
Всего:		18	8	9

ли только зелёных водорослей. Виды, встречающиеся в поверхностных разрастаниях на всех сравниваемых участках: *Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorococcum infusionum*, *Klebsormidium flaccidum*, *Klebsormidium rivulare*, *Stichococcus minor*. Данные виды входят в состав доминантов плёнок «цветения» изучаемых сообществ. Отсутствие в поверхностных разрастаниях азотфиксирующих и слабое развитие безгетероцистных ЦБ, преобладание зелёных водорослей указывает на избыточное содержание азота в почвах исследуемой территории.

Выводы

1. Под влиянием техногенной нагрузки происходит уменьшение видового разнообразия микроорганизмов. Избыточное поступление нитрата аммония в почву, сопровождающееся повышением кислотности, привело к снижению видового разнообразия альгофлоры по сравнению с контролем примерно в 2 раза. При этом произошла перестройка структуры фототрофного блока микроорганизмов. Из состава альгогруппировок исчезли азотфиксирующие ЦБ, одноклеточ-

ные жёлтозелёные и эустигматофитовые водоросли.

2. Умеренный полив богатой азотом водой, с одной стороны, сопровождался удобрительным эффектом – увеличением массы и плотности травостоя, с другой, вследствие повышения кислотности почв, в его составе возрастала доля злаковых трав. На участках с мощным покровом злаков малое разнообразие видов микрофототрофов было обусловлено их слабой конкурентоспособностью за свет, воду, элементы питания с высшими растениями.

3. Экологическая структура альгофлоры почв повышенных участков пойменного луга с высоким содержанием азота характеризуется преобладанием видов-убииквистов, а в понижениях – гидрофильных видов.

4. В почвах затапливаемых в паводок понижений пойменного луга в июне видовой состав был представлен 33 видами водорослей, в августе (при подсыхании понижений) – 48 видами. В оценке воздействия на альгофлору фактор паводка можно рассматривать как приоритетный по сравнению с избыточным содержанием азота в почве.

5. Избыточное содержание азота явилось причиной отсутствия в почвах азотфиксирующих ЦБ, и закономерного преобладания зелёных водорослей.

Литература

1. Гапочка Л.Д. Об адаптации водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1981. 79 с.
2. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
3. Штина Э.А. Почвенные водоросли как экологические индикаторы // Ботанический журнал. 1990. Т. 75. № 4. С. 441–453.
4. Кабиров Р.Р. Альготестирование и альгоиндикация. Уфа: БГПИ, 1995. 125 с.
5. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.
6. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2011. 128 с.
7. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв южной тайги Европейской части России): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.
8. Некрасова К.А. Опыт изучения почвенных водорослей как индикаторов обеспеченности почвы элементами минерального питания растений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ленинград, 1971. 26 с.
9. Третьякова А.Н. Альгологическая оценка использования минеральных удобрений // Актуальные про-

блемы современной альгологии. Киев: Наукова думка, 1987. С. 176–177.

10. Балезина Л.С. Влияние удобрений и гербицидов на развитие почвенных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Горький, 1970. 22 с.

11. Мишустин Е.Н., Калининская Т.А., Петрова А.Н. Влияние связанных форм азота на азотфиксирующую активность синезелёных водорослей // Развитие и значение водорослей в почвах Нечернозёмной зоны: Материалы межвузовской конференции. Киров, 1977. С. 110–111.

12. Ашихмина Т.Я., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Лемешко А.П., Скугорева С.Г., Адамович Т.А. Изучение состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 18–26.

13. Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Кислицына А.П. Биологическая очистка поверхностных вод, загрязнённых нитратом аммония // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 3. С. 19–22.

14. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.

15. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. М., 1985. 4 с.

16. ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.

17. Кислицына А.П., Дабах Е.В., Домнина Е.А. Мониторинг состояния опытного полигона утилизации загрязнённых азотом вод // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика: Матер. Всерос. научн.-практ. конф., посвященной 70-летию агрономического факультета. Киров: Вятская ГСХА, 2014. С. 83–85.

18. Кондакова Л.В., Дабах Е.В. Альгофлора почв понижений пойменного луга // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 250–252.

19. Третьякова А.Н., Балезина Л.С. О действии минеральных удобрений и извести на микробное состояние дерново-подзолистой почвы // Повышение эффективности применения удобрений в хозяйствах Уральской зоны. Пермь, 1983. С. 43–49.

20. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.

21. Штина Э.А., Антипина Г.С., Козловская Л.С. Альгофлора болот Карелии и её динамика. Л.: Наука, 1981. 269 с.

References

1. Gapochka L.D. On adaptation of algae. Moskva: Izd-vo MGU, 1981. 79 p. (in Russian).
2. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).
3. Shtina E.A. Soil algae as ecological indicators // Botanicheskiy zhurnal. 1990. V. 75. No. 4. P. 441–453 (in Russian).

4. Kabirov R.R. Algotesting and algoindication. Ufa: BGPI, 1995. 125 p. (in Russian).
5. Domracheva L.I. "Flowering" of the soil and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).
6. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae of spruce forests and their changes in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar, 2011. 128 p. (in Russian).
7. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and its development in anthropogenically disturbed soils (by the example of soils of southern taiga of the European part of Russia): Avtoref. ... d-ra biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).
8. Nekrasova K.A. Experience in studying soil algae as indicators of soil availability with elements of mineral nutrition of plants: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Leningrad, 1971. 26 p. (in Russian).
9. Tretyakova A.N. Algological assessment of the use of mineral fertilizers // Actual problems of modern algology. Kiev: Naukova dumka, 1987. P. 176–177 (in Russian).
10. Balezina L.S. Effect of fertilizers and herbicides on the development of soil algae: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Gorkiy, 1970. 22 p. (in Russian).
11. Mishustin E.N., Kalininskaya T.A., Petrova A.N. Influence of bound nitrogen forms on nitrogen-fixing activity of blue-green algae // Development and importance of algae in soils of Non-chernozem zone: Materialy mezhvuzovskoy konferentsii. Kirov, 1977. P. 110–111 (in Russian).
12. Ashikhmina T.Ya., Dabakh E.V., Kantor G.Ya., Lemeshko A.P., Skugoreva S.G., Adamovich T.A. The study of the state of the natural complex in the zone of influence of the Kirovo-Chepetsk chemical plant // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2010. No. 3. P. 18–26 (in Russian).
13. Dabakh E.V., Kantor G.Ya., Kislitsyna A.P. Biological treatment of surface waters contaminated with ammonium nitrate // Vestnik IB Komi NTs UrO RAN. 2012. No. 3. P. 19–22 (in Russian).
14. Arinushkina E.V. Guidelines for the chemical analysis of soils. Moskva: MGU, 1970. 488 p. (in Russian).
15. GOST 26488-85. Soil. Determination of nitrates by the method of CINAO. Moskva, 1985. 4 p. (in Russian).
16. GOST 26489-85. Soil. Determination of exchangeable ammonium by the method of CINAO (in Russian).
17. Kislitsyna A.P., Dabakh E.V., Domnina E.A. Monitoring of the state of the experimental site of utilization of water contaminated with nitrogen // Actual problems of agrarian science: theory and practice: mater. vseros. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoy 70-letiyu agronomicheskogo fakulteta. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2014. P. 83–85 (in Russian).
18. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Algoflora of soils of low places of floodplain meadow // Ecology of the native land: problems and ways of their solution: Materialy XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 250–252 (in Russian).
19. Tretyakova A.N., Balezina L.S. On the effect of mineral fertilizers and lime on the microbial state of sod-podzolic soil // Increase the efficiency of fertilizer application in the farms of the Urals zone. Perm, 1983. P. 43–49 (in Russian).
20. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae of forest biogeocenoses. Moskva: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian).
21. Shtina E.A., Antipina G.S., Kozlovskaya L.S. Algoflora of Karelian bogs and its dynamics. Leningrad: Nauka, 1981. 269 p. (in Russian).

Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве

© 2017. А. В. Сазанов¹, к. б. н., доцент, Ю. Н. Терентьев², главный технолог, Н. В. Сырчина¹, к. х. н., доцент, Т. Я. Ашихмина¹, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией, В. А. Козвонин¹, к. м. н., старший научный сотрудник,

¹ Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

² АО «ЭнергоГазИнжиниринг» ОРП КЧ, 613050, Россия, Кировская обл., г. Кирово-Чепецк, ул. Луначарского, 23, e-mail: usr11759@vyatsu.ru, teryun@yandex.ru

Основным отходом промышленного свиноводства является навоз, проблема утилизации которого до настоящего времени не нашла экологически обоснованного решения. Наиболее перспективным направлением утилизации свиного навоза является переработка этого отхода в удобрение. Цель работы состояла в разработке технологии переработки свежего свиного навоза в сбалансированное по составу биоорганическое удобрение, стабильное при хранении и транспортировке и не представляющее опасности для окружающей среды. Производство биоорганических удобрений на основе свежего свиного навоза позволяет минимизировать загрязнение окружающей среды отходами свиноводства и снизить вероятность распространения вируса африканской чумы свиней. Для выполнения экспериментов использовался бесподстилочный свиной навоз влажностью 88,1%. В ходе исследований установлено, что включение в состав удобрения композиции из натуральных минеральных сорбентов, мелиорантов, хлорида калия и сульфата аммония позволяет устранить выраженный неприятный запах навоза и сбалансировать состав удобрения по содержанию основных элементов питания (НРК). Высушивание композиции из свиного навоза и минеральных компонентов при температурах 120–140 °С приводит к полному устранению патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. В качестве микробиологической составляющей для включения в состав удобрения использовали непатогенные и нетоксигенные дрожжи рода *Saccharomyces* и *Candida*, а также изоляты родов *Acuformis*, *Plectridium*, *Bacillus* и микромицеты *Trichoderma viride* штаммов S11 и S23. Нанесение микробиологической композиции позволяет интенсифицировать процессы биодеструкции органических компонентов удобрений во внешней среде. Коэффициент возобновляемости колоний при попадании гранул удобрения в благоприятную среду после 6 месяцев хранения в условиях сухого помещения при комнатной температуре составлял 74,7%. На основе выполненных исследований разработана технологическая схема переработки навоза в органическое удобрение. При использовании существующего здания и инженерной инфраструктуры расчётная стоимость цеха по производству биоорганического удобрения производительностью 10000 т/год составляет 30 млн рублей (в ценах 2017 г). Цеховая себестоимость готового продукта составит 7200 руб./т. Срок окупаемости проекта – 2,5 года.

Ключевые слова: утилизация свиного навоза, биоорганические удобрения, безотходные технологии в сельском хозяйстве.

Production of bioorganomineral fertilizers as the direction of realization of waste-free technologies in pig-breeding

A. V. Sazanov¹, Yu. N. Terentyev², N. V. Syrchina¹, T. Ya. Ashikhmina¹, V. A. Kozvonin¹,

¹ Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² JSC “Energogazinzhiniring”, ORP KCh,

23 Lunacharsky St., Kirovo-Chepetsk, Russia, 613050,

e-mail: usr11759@vyatsu.ru, teryun@yandex.ru

Manure is the main waste in the production of pig-breeding. The problem of pig manure utilization has not found ecologically reasonable solution. The most perspective direction of utilization of pig manure is processing of this withdrawal into fertilizer. The purpose of this work was development of technology of processing of fresh pig manure in a bioorganic-mineral fertilizer balanced in structure, stable at storage and transportation, and not dangerous to the environment. Production of bioorganic-mineral fertilizers on the basis of fresh pig manure allows to minimize the environmental pollution by wastage of

pig-breeding and to reduce probability of spread of the virus of African swine fever virus. To carry out the experiments, we used unbedded pig manure with humidity of 88.1%. During the research it was established that the composition of natural mineral sorbents, ameliorants, potassium chloride and ammonium sulfate included in fertilizer's composition allows to eliminate the expressed off-flavor of manure and to balance fertilizer's composition on the maintenance of basic elements of plant nutrition (NPK). Exsiccation of granular composition from pig manure and mineral components at temperatures 120–140 °C leads to complete elimination of pathogenic microflora and helminths eggs. Nonpathogenic and nontoxigenic species of yeasts *Saccharomyces* and *Candida*, and also isolates of species *Acuformis*, *Plectridium*, *Bacillus* and micromycetes *Trichoderma viride* of the strains S11 and S23 were used as microbiological components of the fertilizer. Application of microbiological composition allows intensifying the process of biodegradation of fertilizers' organic components in the environment. At the hit of granules of fertilizer in a favorable environment after 6 months of storage in the conditions of dry apartment at a room temperature the coefficient of renewableness of colonies was 74.7%. The flow chart of processing manure into organic-mineral fertilizer was developed on the basis of the research. When using of the existing building and engineering infrastructure the calculated cost of the shop for production of bioorganic-mineral fertilizer with efficiency of 10000 tons/year is 30 million rubles (in prices of 2017). The shop prime cost of a finished stock will be 7200 rub/t. The project payback period will be 2.5 years.

Keywords: utilization of pig manure, bioorganic-mineral fertilizers, waste-free technologies in agriculture.

Переход к безотходным технологиям является существенным элементом успешного развития национальной экономики и важнейшим условием предотвращения загрязнения окружающей среды. Реализация безотходных технологий предполагает максимально полную переработку образующихся в производственном процессе отходов в товарную продукцию. Разработка и внедрение безотходных технологий становится ведущим трендом современного крупномасштабного производства. Особую остроту проблема повышения степени переработки отходов приобретает в материалоёмких отраслях. К таким отраслям можно отнести современное промышленное животноводство, основным отходом которого является навоз. Масса образующегося навоза на фермах в сутки достигает 6–8% от массы животного [1]. Несмотря на то, что навоз может быть использован в качестве эффективного органического удобрения, проблема его утилизации до сих пор не получила экологически обоснованного решения. Недостаточное внимание к организации рациональной утилизации соответствующего отхода приводит к возникновению резкого дисбаланса в распределении органических ресурсов по различным территориям: земли сельскохозяйственного назначения вблизи животноводческих ферм оказываются в зоне избыточного поступления органики, а удаленные – в зоне выраженного дефицита органических удобрений. Локализация больших масс органических отходов на ограниченных территориях приводит к существенному ухудшению экологической обстановки в районах размещения животноводческих комплексов и снижает качество жизни проживающих и работающих на соответствующих территориях людей [2].

Наибольшие проблемы возникают при утилизации свиного навоза, который обладает рядом свойств, затрудняющих его применение в

земледелии. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, свежий свиной навоз относится к умеренно опасным отходам 3-го класса, превратившись свиной навоз классифицируется как малоопасный отход 4-го класса опасности [3]. Свиной навоз характеризуется высокой влажностью, несбалансированным содержанием основных элементов питания растений (избыток содержания фосфора по отношению к содержанию калия), повышенным содержанием некоторых тяжёлых металлов (в частности Cu и Zn), выраженным неприятным запахом, а также наличием компонентов (яйца гельминтов, патогенные микроорганизмы [4]), вызывающих биологическое загрязнение окружающей среды. Устранить соответствующие недостатки можно за счёт внедрения прогрессивных технологий переработки нативного свиного навоза в гранулированное биоорганоминеральное удобрение. Возможность и целесообразность переработки навоза в удобрение соответствует рекомендациям СанПиН [5].

Наиболее перспективным путем переработки свиного навоза является производство на его основе гранулированных удобрений с использованием стадии высокотемпературной сушки. При нагревании материала в барабанной сушилке в течение 20–30 минут до 120–140 °C погибают все содержащиеся в навозе гельминты, бактерии, а так же вирусы, в результате чего опасность микробиологического загрязнения среды этим отходом сводится к минимуму. Термическая обработка гранул играет значимую роль в профилактике распространения африканской чумы свиней (АЧС) [6]. По некоторым данным [7] в свином навозе вирус АЧС может сохранять вирулентность от 60 до 100 дней, то есть попадание этого отхода в окружающую среду без соответствующей обработки

может привести к новым очагам распространения АЧС. В этом отношении внедрение новых эффективных технологических решений по реализации проблемы полной утилизации свиного навоза без накопления его в буртах и лагунах является особенно актуальным и своевременным мероприятием.

Цель работы состояла в разработке технологии переработки свежего свиного навоза в сбалансированное по составу биоорганическое удобрение, стабильное при хранении и транспортировке и не представляющее опасности для окружающей среды.

В задачи исследования входило:

- определить экономически и экологически приемлемый способ дезодорации свежего свиного навоза и стандартизации удобрения по содержанию НРК;
- разработать технологию включения хозяйственно полезных микробных сообществ-деструкторов органических отходов в состав удобрения;
- разработать технологическую схему производства биоорганического удобрения, которую можно реализовать в условиях свиноводческого комплекса.

Материалы и методы

Для выполнения экспериментов использовался бесподстилочный свиной навоз влажностью 88,1%, полученный на одном из свиноводческих комплексов Кировской области (цех откорма). В таблице приведены данные о химическом составе соответствующего материала.

Определение общего азота в навозе выполняли по методу Кьельдаля; фосфор и калий определяли методом пламенной фотометрии; зольные вещества и органическое вещество – термогравиметрическим методом; содержание влаги – гравиметрическим методом; pH – ионометрическим методом.

Санитарно-микробиологическую оценку навоза осуществляли на основании результатов исследований по определению общей микробной обсемененности, бактерий группы кишечных палочек, сальмонелл, стафилококков, микроскопических грибов. Определение численности различных групп микроорганиз-

мов проводили методами посева гомогенизированного субстрата и серийных разведений на агаризованные питательные среды с последующим подсчетом выросших колоний. Для определения общей микробной обсемененности субстрата использовали питательную среду МПА (мясо-пептонный агар), бактерий группы кишечной палочки – агар Эндо, сальмонелл – висмут-сульфитный агар, стафилококков – желточно-солевой агар, микроскопических грибов – агар Чапека. Популяционный уровень каждой группы микроорганизмов выражали в десятичных логарифмах [8].

Выявление в образцах яиц гельминтов и ооцист простейших проводили общепринятыми методами.

В качестве компонентов для дезодорации и оптимизации состава удобрения применялись вещества и материалы, характеризующиеся низкой стоимостью, доступностью и экологической безопасностью: гашёная известь (мелиорант, дезодорант), глауконитсодержащий эфель Верхнекамского фосфоритного рудника (мелиорант, дезодорант, источник фосфора, калия, известковых компонентов, микроэлементов), хлорид калия (источник калия, консервант), сульфат аммония (источник азота). В качестве микробиологической составляющей для включения в состав удобрения использовали непатогенные и нетоксигенные дрожжи рода *Saccharomyces* и *Candida*, а также изоляты родов *Acuformis*, *Plectridium*, *Bacillus* и микромицеты *Trichoderma viride* штаммов S11 и S23, обладающие способностью роста в широком диапазоне pH и устойчивостью к химическим загрязнителям. Культуральную жидкость микроорганизмов с титром 10^8 КОЕ/см³ использовали в дозе 3 см³ на тонну гранулированного продукта. Культуральную жидкость микроорганизмов перед нанесением на гранулы разводили водой в отношении 1:1000. Включение микробиологической композиции позволяет интенсифицировать процессы биодеструкции органических компонентов удобрения в почве [9].

Смешивание всех компонентов (кроме микробиологической составляющей) выполнялось в лабораторном роторном смесителе. Для гранулирования смеси использовался шнековый лабораторный гранулятор (диаметр отвер-

Таблица

Состав бесподстилочного свиного навоза

Содержание, % на сухое вещество			Органическое вещество, %	Зольные вещества, %	pH
азот общий (N)	фосфор (P ₂ O ₅)	калий (K ₂ O)			
6,10±0,08	4,50±0,15	1,90±0,03	76,0±0,6	24,0±0,6	7,8±0,2

стей – 5 мм). Высушивание (стабилизация) гранул производилось в термостатируемых условиях при температуре 140 °С в течение 40 минут, что обеспечивало не только обезвоживание материала до остаточной влажности 15%, но и полное устранение патогенной микрофлоры. Культуральная жидкость наносилась на охлаждённые до комнатной температуры гранулы удобрения с помощью пульверизатора, имитирующего форсунки тонкого распыления при промышленном производстве гранул.

Готовые гранулы имели светло-серый цвет, характеризовались слабо выраженным запахом и выдерживали нагрузку не менее 1,5 кг на гранулу. Коэффициент возобновляемости колоний при попадании гранул удобрения в благоприятную среду после 6 месяцев хранения в условиях сухого помещения при комнатной температуре составлял 74,7%.

Технология получения гранулированного биоорганического удобрения

На основании результатов лабораторных экспериментов была разработана технологическая схема круглогодичной переработки свежего свиного навоза в биоорганическое удобрение, которую можно реализовать непосредственно на территории свиноводческого комплекса (рис.). Круглогодичный режим работы линии переработки навоза имеет большое практическое значение в условиях сезонности сельскохозяйственных работ, поскольку исключает накопление непереработанного навоза в открытом состоянии. Переработанный в гранулированное удобрение навоз можно хранить в течение нескольких месяцев (и более) в закрытом складском помещении и использовать в наиболее благоприятный период для внесения в почву.

Согласно предлагаемой технологии, свежий свиной навоз из приёмника подается винтовым насосом на осадительные центрифуги, где происходит его предварительное обезвоживание до влажности 70–80% масс. После осадительных центрифуг осадок направляется на ленточный конвейер, а фугат (жидкая фракция) – в накопитель сточных вод для отстаивания, фильтрования, реагентной и биохимической очистки. Очищенный до нормативных требований фугат сбрасывается в открытую гидрографическую сеть или используется взамен свежей производственной воды.

Частично обезвоженный осадок с ленточного конвейера направляется на винтовой конвейер для подачи его в отдельный утеплённый

ангар. Ангар оборудован гидроизолированным поддоном с приямком для сбора стоков и подвесным грейферным краном грузоподъёмностью 3,2 т. Дренаж из приямка выводится в накопитель сточных вод. Ангар разделяется на три отсека:

- отсек гравитационного отстоя выдерживания осадка в течение суток;
- отсек смешения осадка с глауконитсодержащим эфелем и строительной известью для дезодорации осадка;
- отсек хранения и разгрузки эфеля, а также строительной извести в мягких контейнерах. Согласно предлагаемой технологии эфель в количестве 20 т завозится самосвалом внутрь ангара.

Подвесной грейферный кран используется для перегрузки эфеля, извести и осадка, перемешивания осадка с эфелем, известью, погрузки дезодорированного осадка в приёмный бункер винтового конвейера, подающего продукт в барабанную сушилку первой ступени.

Для предотвращения загрязнения воздушной среды газообразными компонентами, выделяющимися при переработке навоза, помещение ангара оборудовано аспирационной системой с выводом на самостоятельную газоочистную установку, состоящую из мокрого скруббера с орошением раствором гипохлорита натрия. Очищенный воздух выбрасывается через выбросную трубу высотой 20 м.

Дезодорированный осадок в барабанной сушилке первой ступени подсушивается до влажности 40–50% масс. топочными газами, нагретыми в газовом калорифере.

Частично подсушенный осадок направляется в 2-х уровневую валковую дробилку-смеситель, в которую винтовыми конвейерами подается сульфат аммония и хлорид калия. Бункеры загружаются из мягких контейнеров краном. Благодаря этой операции происходит удаление образовавшейся на поверхности навоза в процессе сушки корки и стандартизация удобрения по содержанию азота, фосфора и калия. Добавка минеральных компонентов (хлорид калия, сульфат аммония, глауконитсодержащий эфель) позволяет изменять соотношение **НРК в готовом удобрении в широких пределах** и адаптировать готовый продукт к потребностям различных культур в соответствии с запросами агрономической службы.

Приготовленная и сбалансированная по содержанию НРК смесь органических и минеральных компонентов подается в барабанную сушилку второй ступени, где происходит ее обезвоживание до влажности 12–18% масс. Соот-

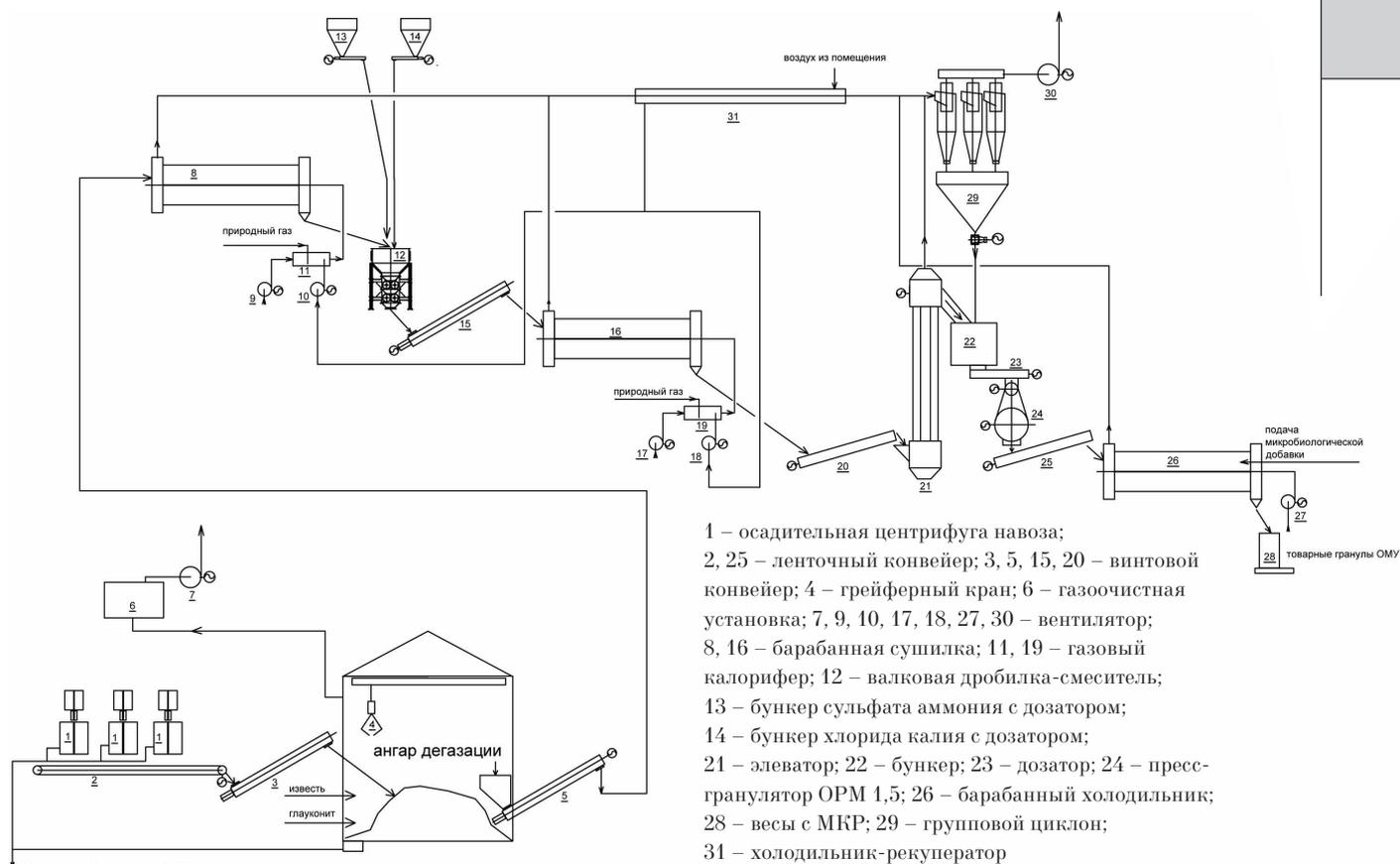


Рис. Технологическая схема получения биоорганического удобрения на основе свиного навоза

ветствующая влажность является оптимальной для работы пресс-гранулятора ОГМ 1,5. Подача сушильного агента на второй ступени осуществляется аналогично процессу сушки на первой ступени. Время пребывания гранул в сушильных барабанах составляет 20–30 мин, а температура получаемых гранул достигает 120–140 °С.

Для подогрева вторичного воздуха, поступающего в газовые калориферы, коллектор аспирационных выбросов от барабанных сушилок перед системой пылеочистки оборудован рекуператором «труба в трубе». Вторичный воздух забирается из производственного помещения как отсасываемый воздух общеобменной вентиляции, что фактически означает огневое обезвреживание газообразных веществ в газовом калорифере.

Подсушенный осадок подаётся винтовым конвейером на элеватор и далее в расходный бункер пресс-гранулятора ОГМ 1,5. Из пресс-гранулятора полученные гранулы (пеллеты) диаметром 3–5 мм и длиной 3–5 мм подаются ленточным конвейером в барабанный холо-

дильник. В холодильнике происходит охлаждение гранул до температуры 20–40 °С. На охлаждённые гранулы наносится микробиологическая составляющая методом орошения через форсунки тонкого распыла на выходе гранул из барабана.

Готовые гранулы можно расфасовывать в мешки или мягкие контейнеры и хранить в сухом холодном складе или транспортировать любым видом транспорта.

При использовании существующих помещений и инженерной инфраструктуры расчётная стоимость цеха по производству биоорганического удобрения производительностью 10000 т/год составляет 30 млн рублей (в ценах 2017 г); цеховая себестоимость готового продукта при реализации предлагаемой технологии – 7200 руб./т; срок окупаемости проекта – 2,5 года.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что характерный запах свежего

свиного навоза можно практически полностью устранить за счёт включения в его состав композиции из глауконитсодержащего эфеля, содержащего 50% глауконита, и гашёной строительной извести с последующим высушиванием смеси. Дезодорирующие компоненты не представляют угрозы для окружающей среды, обладают мелиорирующими свойствами и низкой стоимостью. Соотношение азота, фосфора и калия в готовом удобрении можно регулировать в широких пределах за счёт включения в состав удобрения сульфата аммония, хлорида калия и глауконитсодержащего эфеля.

В качестве микробиологической составляющей удобрения на основе свиного навоза может быть использована композиция непатогенных и нетоксигенных дрожжей родов *Saccharomyces* и *Candida*, а также изолятов родов *Acuformis*, *Plectridium*, *Bacillus* и микромицетов *Trichoderma viride* штаммов S11 и S23. Данная композиция позволяет интенсифицировать процессы биодеструкции органических компонентов удобрений во внешней среде.

На основе выполненных в лабораторных условиях экспериментов была разработана технологическая схема переработки свежего свиного навоза в гранулированное биоорганическое удобрение. Использование стадии высокотемпературной сушки позволяет получать продукт, не представляющий угрозы в плане загрязнения окружающей среды опасными патогенами.

Литература

1. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления. М.: Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами. 1999. 65 с.
2. Неверова О.П. Экологический мониторинг в зоне деятельности животноводческих предприятий: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург. 2003. 186 с.
3. Федеральный классификационный каталог отходов: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 22 мая 2017 года № 242 (зарегистрировано в Минюсте России 08.06.2017 № 47008).
4. Лопата Ф.Ф. Ветеринарно-санитарная оценка органических отходов животноводства // Аграрный вестник Урала. 2008. № 2. С. 72–75.

5. Санитарно-эпидемиологические правила и гигиенические нормативы: СанПиН 2.2.3.-09. Гигиенические требования к животноводческим объектам: нормативно-технический материал. М., 2009. 54 с.

6. Селянинов Ю.О., Егорова И.Ю., Прудникова Е.Ю., Балышев В.М. Изучение обеззараживающего действия некоторых физических и химических факторов на вирус АЧС // Ветеринария. 2014. № 7. С. 14–18.

7. Макаров В.В. Вирус африканской чумы свиней // Ветеринарная практика. 2011. № 3 (54). С. 10–16.

8. Смирнов А.М., Тюрин В.Г. Ветеринарно-санитарные и зоогигиенические мероприятия в свиноводстве // Ветеринария. 2012. № 9. С. 3–7.

9. Кулинич О.А., Ларченко В.В. Биодеструктор свиного навоза // Свиноводство. 2016. № 2. С. 38–40

References

1. Sourcebook of specific indexes of formation of industrial and consumption waste. M.: Nauchno-issledovatel'skiy tsentr po problemam upravleniya resursosberezheniyem i otkhodami. 1999. 65 p. (in Russian).
2. Neverova O.P. Environmental monitoring in the area of livestock enterprises: Diss. ... kand. biol. nauk. Ekaterinburg. 2003. 186 p. (in Russian).
3. Federal classification catalog of waste: The order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation of May 22, 2017 No. 242 (it is registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 08.06.2017 No. 47008) (in Russian).
4. Lopata F.F. Veterinary and sanitary assessment of organic wastage of livestock production // Agrarnyy vestnik Urala. 2008. No. 2. P. 72–75 (in Russian).
5. Sanitary and epidemiologic rules and hygienic standards: SanPiN 2.2.3.-09. Hygienic requirements to livestock objects: normative and technical material. Moskva, 2009 (in Russian).
6. Selyaninov Yu.O., Egorova I.Yu., Prudnikova E.Yu., Balyshev V.M. Studying of the disinfecting action of some physical and volumetric factors on the AChS virus // Veterinariya. 2014. No. 7. P. 14–18 (in Russian).
7. Makarov V.V. African swine fever virus // Veterinarnaya Praktika. 2011. No. 3 (54). P. 10–16 (in Russian).
8. Smirnov A.M., Tyurin V.G. Veterinary and sanitary and zoohygienic actions in pig-breeding // Veterinariya. 2012. No. 9. P. 3–7 (in Russian).
9. Kulinich O.A., Larchenko V.V. Biodestructor of pig manure // Svinovodstvo. 2016. No. 2. P. 38–40 (in Russian).

Разнообразие антофильных насекомых растений и биохимические особенности нектара-интродуцентов рода *Serratula*

© 2017. С. В. Пестов^{1,2}, к. б. н., доцент, н. с.,
 Н. И. Филиппов¹, к. б. н., н. с., К. Г. Уфимцев¹, к. б. н., н. с.,
 В. В. Володин¹, д. б. н., профессор, зав. лабораторией,
 С. О. Володина¹, к. б. н., с. н. с., А. Г. Донцов¹, к. х. н., с. н. с.,
 И. В. Бешлей¹, к. б. н., н. с.,

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

² Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
 e-mail: Pestov@ib.komisc.ru

Исследования проводились в окрестностях г. Сыктывкар (Республика Коми). Объектами исследования являлись три интродуцированных вида рода *Serratula*: *S. coronata* L. (серпуха венценосная), *S. inermis* Gilib. (серпуха неколючая), *S. quinquefolia* M. Bieb. ex Willd. (серпуха пятилистная). В состав комплекса насекомых-опылителей трёх видов растений-интродуцентов рода *Serratula* входит 51 вид насекомых из пяти отрядов. Наибольшее разнообразие видового состава опылителей растений рода *Serratula* в консортивных комплексах отмечено для *S. coronata* и *S. inermis* (35–36 видов). Доминирующей группой антофильных насекомых являются шмели. Из наиболее распространённых – *Bombus jonellus* (Kirby), *B. pascuorum* (Scopoli) и *B. sporadicus* Nylander два последних включены в Красную книгу Республики Коми (2009). Наибольшая доля шмелей (до 94% общего числа опылителей) отмечена на *S. quinquefolia*. В нектаре всех трёх видов рода *Serratula* обнаружены 20-гидроксиэкдизон. В *S. coronata*, кроме того, обнаружены иннокостерон и минорный компонент – экдизон. В нектаре представителей рода *Serratula*, собранном в период массового цветения, нами обнаружено три основных углеводных компонента – сахароза, фруктоза и глюкоза. По количественному содержанию во всех видах доминирует сахароза. В нектаре *S. quinquefolia* её содержание достигает 50%. Присутствие экдистероидов в составе нектара растений говорит о возможном участии этих соединений как регуляторов, в ближних и дальних экологических связях в наземных экосистемах.

Ключевые слова: консортивный комплекс, насекомые-опылители, шмели, *Serratula*, экдистероиды, углеводы.

Anthophilous insects diversity and biochemical specificity of nectar and of the genus *Serratula*

S. V. Pestov^{1,2}, K. G. Ufimtsev¹, V. V. Volodin¹,
 S. O. Volodina¹, A. G. Dontsov¹, N. I. Filippov¹, I. V. Beshley¹,
¹ Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
² Vyatka State University,
 36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
 e-mail: atylotus@mail.ru

The study was conducted near the city of Syktyvkar (the Komi Republic). The objects of study were three introduced species of the genus *Serratula*: *S. coronata* L., *S. inermis* Gilib., *S. quinquefolia* M. Bieb. ex Willd. Comparative characterization of complexes of insect pollinators of three species of the genus *Serratula* in the middle taiga of the Komi Republic is shown. It is established that the complex includes 51 species of insects of five orders. The dominant group of anthophilous insects for representatives of the genus *Serratula* are bumblebees. Of the 21 species of bumblebees found on the plants, the most common are *Bombus jonellus* (Kirby), *B. pascuorum* (Scopoli) and *B. sporadicus* Nylander, two species – *B. sporadicus* and *B. schrencki* Morawitz, included in the Red Data Book of the Komi Republic (2009). The largest share of bumblebees was marked on *S. quinquefolia* (up to 94% of the total number of insect pollinators). In the nectar of all three species of the genus *Serratula* discovered 20-hydroxyecdysone. In *S. coronata*, also detected the minor component inokosterone and ecdysone. The nectar of the genus *Serratula*, assembled in the period of mass flowering, contains three main carbohydrate components: sucrose, fructose, and glucose. As for the quantitative content of all

types, sucrose dominates. In the nectar of *S. quinquefolia* its content reaches 50%. The presence of ecdysteroids in the composition of the nectar of plants speaks about possible involvement of these compounds as regulators in the near and far ecological relationships in terrestrial ecosystems.

Keywords: plant-insect interactions, pollinating insects, bumblebees, *Serratula*, ecdysteroids, carbohydrates.

К перспективным лекарственным растениям-медоносам, интродуцированным в средней тайге Республики Коми, относится серпуха венценосная (*Serratula coronata* L.) из трибы Cardueae сем. Asteraceae [1]. Известно, что нектар является основной пищей для многих насекомых. Он является мощным дополнительным фактором, наряду с окраской лепестков и наличием пыльцы, для привлечения растениями опылителей. Нектаром питаются почти все насекомые высших отрядов – перепончатокрылые (Hymenoptera), чешуекрылые (Lepidoptera) и двукрылые (Diptera). Питание пыльцой и впоследствии нектаром сыграло важную роль в эволюции насекомых и наложило определённый отпечаток, как на их морфологию, так на биологию и поведение [2]. Существует мнение, что нельзя рассматривать нектар только как средство привлечения насекомых-опылителей. В нектар входят гормоны стероидной группы, которые создают благоприятную среду для прорастания пыльцевых трубок и оплодотворения цветка [3].

В литературе имеются данные о химическом составе нектара [3, 4] и роли его в формировании состава опылителей [5]. Как известно, нектар состоит в основном из сахарозы, глюкозы и фруктозы. Соотношение этих углеводов в нектаре разных видов растений неодинаково. Кроме того, сахаристость нектара даже одного и того же вида растения, крайне непостоянна и зависит от ряда факторов (сорта растения, погодных и почвенных условий и др.). Поэтому в разных литературных источниках можно встретить данные об углеводном составе нектара одного и того же вида растения, которые в значительной степени отличаются. Несмотря на интенсивное изучение биологических особенностей и химического состава представителей рода *Serratula* [6], вопросы цветения, опыления и влияние на эти процессы химического состава нектара ещё слабо изучено.

Важнейшее значение в становлении эволюции энтомофильных растений имели насекомые-опылители, к которым относятся самые различные представители перепончатокрылых, в частности – пчелиные. Пчёлы сохранили свою ведущую роль в осуществлении перекрестного опыления возделываемых человеком растений. Среди диких представите-

лей энтомофауны существенное значение как опылители имеют шмели. Как показали исследования, шмели играют огромную роль в опылении различных растений при организации сельского хозяйства на Севере. Шмели – одни из самых холодостойких насекомых, хорошо приспособленных к жизни в суровых условиях севера, где численность других опылителей органичена. Они водятся далеко за Северным полярным кругом, доходят на севере до Гренландии, Новой Земли, Чукотки и Аляски, а также южнее любых других пчёл – на Огненной Земле у антарктической оконечности Южной Америки [7–10].

Соцветия серпухи имеют довольно крупные размеры и обильно выделяют нектар. Ранее нами были изучены консортивные связи *Serratula coronata* с позиции адаптации растений к новым условиям произрастания, а также возможного участия вторичных метаболитов серпухи венценосной – фитоэктистероидов, во взаимоотношениях с насекомыми [11–13].

Целью настоящего исследования является характеристика комплексов насекомых-опылителей в связи с определением содержания возможных экорегуляторов (эктистероидов) и важнейших компонентов питания – углеводов, в нектаре трёх видов растений рода *Serratula* (*S. coronata*, *S. inermis*, *S. quinquefolia*) в условиях средней тайги Республики Коми.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в июне-августе 2011–2014 гг. в окрестностях г. Сыктывкара. Объектами исследования являлись три интродуцированных вида рода *Serratula*: *S. coronata* L. (серпуха венценосная), *S. inermis* Gilib. (серпуха неколючая), *S. quinquefolia* M. Bieb. ex Willd. (серпуха пятилистная). Активность опылителей оценивали визуально на учётных площадках. Учёты (по 10–12 для каждого растения) проводились в течение всего периода цветения. Для выявления видового состава после каждого учёта проводился сбор насекомых-консорттов (всего было собрано около 1500 особей).

Учёт опылителей производили в течение 20-минутного интервала в период цветения

растений. Нектар из соцветий некоторых представителей рода *Serratula* получали по описанной методике [14]. Компонентный состав экистероидов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на аналитической ВЭЖХ-системе Varian Pro Star (США) по методике [15]. Компонентный состав и количественное соотношение сахаров определяли на аналитической ВЭЖХ-системе Knauer Smartline 2300 (Германия) по методике, описанной в [16]. На основании полученных данных количественного содержания и компонентного состава сахаров составлена формула нектара [4, 17].

Результаты и их обсуждение

На соцветиях исследованных видов *Serratula* нами обнаружен 51 вид насекомых из пяти отрядов. Самым большим разнообразием отличаются отряды двукрылых и перепончатокрылых. В видовом составе консортов интродуцированных видов перепончатокры-

лые составляют 30–60% видового состава. Наибольшее разнообразие видового состава опылителей растений рода *Serratula* в консортивных комплексах отмечено для *S. coronata* и *S. inermis* (35–36 видов) (рис.).

Доминирующей группой антофильных насекомых для представителей рода *Serratula* являются шмели. Обнаружен 21 вид, из которых к наиболее распространённым относятся *Bombus jonellus* (Kirby), *B. pascuorum* (Scopoli) и *B. sporadicus* Nylander. Два вида (*B. sporadicus* и *B. schrencki* Morawitz) включены в Красную книгу Республики Коми (2009) [18]. Наибольшая доля шмелей отмечена на *S. quinquefolia* (до 94% общего числа опылителей) [12].

По обобщённым данным, нектар большинства медоносных растений имеет в своем составе 50,9% сахарозы, 23,5% глюкозы и 25,5% фруктозы (соотношение можно представить как 1:0,5:0,5) [3, 17, 19]. В нектаре представителей рода *Serratula*, собранном в период массового цветения, нами обнаружено

Таблица 1

Видовой состав опылителей некоторых представителей рода *Serratula* Республики Коми (подзона средней тайги)

Группа опылителей	Виды растений		
	<i>S. coronata</i>	<i>S. inermis</i>	<i>S. quinquefolia</i>
Отр. HETEROPTERA	3	0	2
Сем. Miridae	1	0	1
Сем. Pentatomidae	2	0	1
Отр. COLEOPTERA	2	1	9
Сем. Coccinellidae	1	0	0
Сем. Cetoniidae	1	1	0
Отр. LEPIDOPTERA	5	3	0
Сем. Nymphalidae	1	2	0
Сем. Pieridae	1	1	0
Сем. Hesperidae	1	0	0
Сем. Noctuidae	1	0	0
Сем. Crambidae	1	0	0
Отр. HYMENOPTERA	1	1	1
Сем. Vespidae	0	0	1
Сем. Halictidae	1	1	0
Сем. Apidae	17	18	15
Отр. DIPTERA	0	1	0
Сем. Empididae	0	1	0
Сем. Syrphidae	5	10	4
Сем. Tephritidae	1	0	0
Сем. Muscidae	1	1	1
Сем. Tachinidae	0	1	0
Число видов	35	36	23

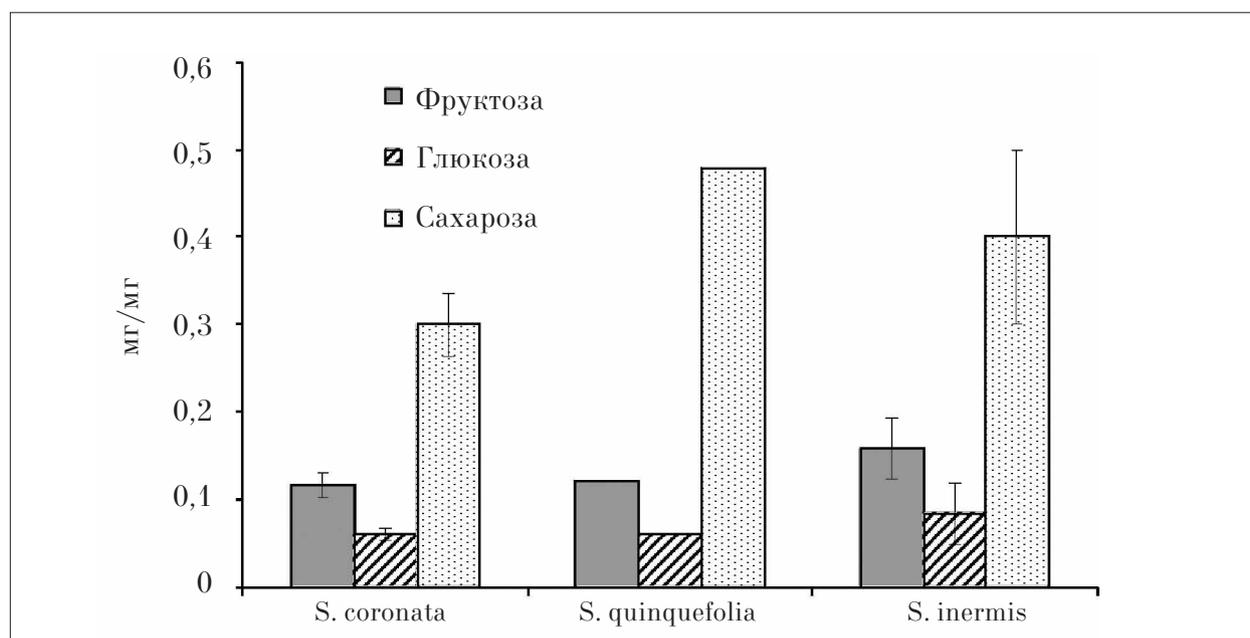


Рис. Содержание углеводов в образцах нектара трёх видов рода *Serratula*

Таблица 2

Компонентный состав экидистероидов в нектаре некоторых представителей рода *Serratula* L.

Вид растения	Экидизон	20-гидроксиэкидизон	Инокостерон
<i>S. coronata</i>	+	+	+
<i>S. inermis</i>	-	+	-
<i>S. quinquefolia</i>	-	+	-

Примечание: прочерк – экидистероид не обнаружен.

три основных углеводных компонента – сахара, фруктоза и глюкоза. По количественному содержанию во всех видах доминирует сахароза (рис.). В нектаре *S. quinquefolia* её содержание достигает 50%. Формулы нектара, составленные по методике [4] для трёх видов серпухи, показывают отсутствие расхождения в компонентном составе углеводной части и могут быть представлены однозначно – SGF (S – сахароза, G – глюкоза, F – фруктоза).

В природе любой организм взаимодействует со своим абиотическим и биотическим окружением. Помимо климатических и эдафических факторов, обычно учитываемых при интродукции, важным является выявление консортивных связей между видами. В практическом плане большой интерес представляет определение роли насекомых двух групп – фитофагов и опылителей. Значение насекомых-фитофагов для растения неоднозначно. С одной стороны, можно говорить об отрицательном воздействии фитофагов на растения, поскольку они отчуждают часть фитомассы. С другой стороны, биоповреждения мо-

гут приводить к индукции биосинтеза вторичных метаболитов, что имеет важное практическое значение в практике сельского хозяйства. Например, поражение тлей растений паслёна дольчатого *Solanum laciniatum* (Ait.) приводит к увеличению содержания соласодина в листьях [20], а повреждение личинками комарика *Bradysia impatiens* Joh. корней шпината (*Spinacia oleracea* L.) вызывает многократное увеличение концентрации 20-гидроксиэкидизона в растениях [21]. В литературе имеются и другие данные о разнообразном влиянии экзогенных экидистероидов на рост и развитие насекомых-фитофагов, позволяющие высказать предположение, что биохимическая изменчивость растений и разделение насекомых на устойчивых и чувствительных по отношению к экидистероидам особей является стратегией выживания растений и насекомых на видовом и популяционном уровнях [6, 22–24]. Из-за сложности изучения эволюционно сложившихся взаимоотношений между растениями и насекомыми-фитофагами вопрос о роли экидистероидов в жизни растений остается дискуссионным [6].

Нами впервые в нектаре трёх видов рода *Serratula* обнаружены экидистероиды. Во всех видах присутствует 20-гидроксиэкидизон, в *S. coronata*, кроме того, обнаружены инокостерон и минорный компонент – экидизон (табл. 2).

Присутствие экидистероидов в составе нектара растений говорит о возможном участии этих соединений в трофических цепях. Полученные данные позволяют в перспективе исследовать возможное участие фитоэкидистероидов, как экорегуляторов, в ближних и дальних экологических связях в наземных экосистемах.

Заключение

В составе антофильного комплекса насекомых-опылителей трёх видов растений рода *Serratula* (*S. coronata*, *S. inermis*, *S. quinquefolia*) в условиях средней тайги Республики Коми обнаружен 51 вид насекомых из пяти отрядов. Наибольшим разнообразием отличаются отряды двукрылых и перепончатокрылых. Доминирующая группа антофильных насекомых представлена шмелями, из которых наиболее распространёнными являются *Bombus jonellus* (Kirby), *B. pascuorum* (Scopoli) и *B. sporadicus* Nylander. Два вида – *B. sporadicus* и *B. schrencki* Morawitz, включены в Красную книгу Республики Коми (2009). Наибольшая доля шмелей отмечена на *S. quinquefolia* (до 94% общего числа опылителей). Состав углеводов соответствует «усреднённой» формуле нектара для медоносных растений (SGF) с преобладанием сахарозы. Впервые в нектаре трёх представителей рода *Serratula* обнаружены фитоэкидистероиды, присутствие которых позволяет предположить возможное участие этих соединений в трофических цепях.

Литература

1. Мишуров В.П., Зайнуллин В.Г., Рубан Г.А., Савиновская Н.С., Пунегов В.В., Башлыкова Л.А. Интродукция *Serratula coronata* L. на Европейском Северо-Востоке. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН. 2008. 192 с.
2. Гринфельд Э.К. Происхождение и развитие антофилии у насекомых. Л.: Изд-во Ленинградского университета. 1978. 208 с.
3. Ковалёв А.М., Нуждин А.С., Полтеев В.И., Таранов Г.Ф. Учебник пчеловода. М.: Колос, 1970. 432 с.
4. Persival M.S. Types of nectar in angiosperms // *New Phytologist*. 1961. V. 60. Iss. 3. P. 235–281.
5. Нужнова О.К. Влияние широтного градиента на содержание сахаров в нектаре цветков *Taraxacum*

- officinale* Wigg. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. Вып. 7. С. 29–36.
6. Фитоэкидистероиды / Под ред. В.В. Володина. СПб.: Наука. 2003. 293 с.
7. Андреев И.И. Об опылении растений шмелями. М.: Россельхозиздат. 1950. С. 41–45.
8. Гребенников В.С. Шмели-опылители клевера. М.: Россельхозиздат. 1984. 62 с.
9. Ушатинская Р.С. Основы холодостойкости насекомых. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 314 с.
10. Чернышёв В.Б. Экология насекомых. М.: Изд-во МГУ. 1996. 304 с.
11. Пестов С.В., Расова Е.Е. Мухи-журчалки (Diptera, Syrphidae) в сообществах опылителей растений трибы Cardueae в средней тайге Республики Коми // Бизнес. Наука. Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы всероссийской научно-практической конференции-выставки экологических проектов с международным участием. Киров, 2013. С. 53–55.
12. Пестов С.В., Расова Е.Е., Филиппов Н. И., Володин В.В. Комплексы опылителей некоторых растений трибы Cardueae (Asteraceae) в условиях средней тайги Республики Коми // *Известия Самарского НЦ РАН*. 2013. Т. 15. № 3 (7). С. 2205–2209.
13. Пестов С.В., Уфимцев К.Г., Володин В.В., Володина С.О., Донцов А.Г. Консортивные связи экидистероидсодержащего растения *Serratula coronata* L. (Asteraceae) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2012. № 1. С. 77–82.
14. Swanson C.A., Shuel R.W. The centrifuge method for measuring nectar yield // *Plant Physiologist*. 1950. V. 25. No. 3. P. 513–520.
15. Чадин И.Ф., Колегова Н.А., Володин В.В. Распределение 20-гидроксиэкидизона в генеративных растениях *Serratula coronata* L. // *Сибирский экологический журнал*. 2003. Т. 1. С. 49–53.
16. Тарабукин Д.В., Торлопов М.А., Володин В.В., Донцов А.Г. Получение порошковой целлюлозы и глюкозы ферментативным гидролизом целлюлозы в смеси с крахмалом // *Биотехнология*. 2009. № 4. С. 57–63.
17. Зауралов О.А., Яковлева Л.П. Состав сахаров нектара некоторых медоносных растений // *Растительные ресурсы*. 1973. Вып. 3. С. 444–451.
18. Красная книга Республики Коми / Под ред. А.И. Таскаева. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. 2009. 791 с.
19. Зауралов О.А., Акимова Н.Ф. Соотношение сахаров в нектарниках и нектаре некоторых видов // *Растительные ресурсы*. 1988. Вып. 3. С. 434–441.
20. Шаин С.С. Биорегуляция продуктивности растений. М.: Оверлей. 2005. 218 с.
21. Schmelz E.A., Grebenok R.J., Ohnmeiss T.E., Browers W.S. Interaction between *Spinacia oleracea* and *Bradysia impatiens*: A role for phytoecdysteroids // *Arch. of Insect Biochem. and Physiol*. 2002. V. 51 (4). P. 204–221.

22. Уфимцев К.Г., Ширшова Т.И., Володин В.В. Фитоэктистероиды – детерренты насекомых-фитофагов. Екатеринбург. 2009. 89 с.

23. Уфимцев К.Г., Ширшова Т.И., Володин В.В. Фитоэктистероиды как детерренты насекомых-фитофагов: действие растения серпухи венценосной *Serratula coronata* L. – продуцента эктистероидов, на египетскую хлопковую совку *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) // Успехи современной биологии. 2009. Т. 129. № 3. С. 1–15.

24. Malausa T., Salles M., Marquet V., Guillemaud T., Alla S., Marion-Poll F., Lapchin L. Within-species variability of the response to 20-hydroxyecdysone in peach-potato aphid (*Myzus persicae* Sulzer.) // J. of Insect Physiol. 2006. V. 52 (5). P. 480–486.

References

1. Mishurov V.P., Zaynullin V.G., Ruban G.A., Savinovskaya N.S., Punegov V.V., Bashlykova L.A. Introduction of *Serratula coronata* L. in the European north-east. Syktyvkar: Komi Nauchnyy Tsentri UrO RAN. 2008. 192 p. (in Russian).

2. Grinfeld E.K. The origin and development of anthophylite of insects. Leningrad: Izdatelstvo Leningradskogo universiteta. 1978. 208 p. (in Russian).

3. Kovalev A.M., Nuzhdin A.S., Polteev V.I., Taranov G.F. Beekeeper's tutorial. Moskva: Kolos, 1970. 432 p. (in Russian).

4. Persival M.S. Types of nectar in angiosperms // New Phytologist. 1961. V. 60. Iss. 3. P. 235–281.

5. Nuzhnova O.K. The effect of latitudinal gradient on the carbohydrate content of the nectar in the flowers of *Taraxacum officinale* Wigg. // Vestnik Baltiyskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. 2011. V. 7. P. 29–36 (in Russian).

6. Phytoecdysteroids / Ed. V.V. Volodin. St. Petersburg: Nauka. 2003. 293 p. (in Russian).

7. Andreev I.I. About pollination of plants by bumblebees. Moskva: Rosselhozizdat. 1950. P. 41–45 (in Russian).

8. Grebennikov V.S. Bumblebees-pollinators of clover. Moskva: Rosselhozizdat. 1984. 62 p. (in Russian).

9. Ushatinskaya R.S. Bases of cold resistance of insects. Moskva: Izdatelstvo AN SSSR. 1957. 314 p. (in Russian).

10. Chernyshev V.B. Ecology of insects. Moskva: Izdatelstvo MGU. 1996. 304 p. (in Russian).

11. Pestov S.V., Rasova E.E. Hover-flies (Diptera, Syrphidae) in pollinate community of plants Cardueae of tribes in middle taiga of The Republic of Komi // Biznes. Nauka. Ecologia rodnogo kraja: problemy i puti ich reshenis: Materialy vsrossijskoy nauch.-prakt. konferencii-

vystavki ekologicheskikh projectov s merzhdunarodnym uchastiem. Kirov, 2013. P. 53–55 (in Russian).

12. Pestov S. V., Rasova E.E., Filippov N.I. Volodin V.V. Pollinators complexes some plants of Cardueae tribae (Asteraceae) in middle taiga condition of The Republic of Komi // Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2013. V. 15. No. 3 (7). P. 2205–2209 (in Russian).

13. Pestov S.V., Ufimtsev K.G., Volodin V.V., Volodina S.O., Dontsov A.V. The consortive interaction ecdysteroid-containing plants *Serratula coronata* L. (Asteraceae) // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2012. No. 4. P. 77–82 (in Russian).

14. Swanson C.A., Shuel R.W. The centrifuge method for measuring nectar yield // Plant Physiology. 1950. V. 25. No. 3. P. 513–520.

15. Chadin I.F., Kolegova N.A., Volodin V.V. Distribution of 20-hydroxyecdysone in generative plants of *Serratula coronata* L. // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2003. V. 1. P. 49–53 (in Russian).

16. Tarabukin D.V., Torlopov M.A., Volodin V.V., Dontsov A.G. The preparation of powder cellulose and glucose by enzymatic hydrolysis of cellulose in a mixture with starch // Biotekhnologiya. 2009. No. 4. P. 57–63 (in Russian).

17. Zauralov O.A., Yakovleva L.P. Composition of carbohydrates of the nectar of some honey plants // Rastitelnye resursy. 1973. No. 3. P. 444–451 (in Russian).

18. The Red Data Book of the Komi Republic / Ed. A.I. Taskaev. Syktyvkar: Institut biologii Komi NTs UrO RAN. 2009. 791 p. (in Russian).

19. Zauralov O.A., Akimova N.F. The ratio of carbohydrates in the nectaries and nectar of some species // Rastitelnyye resursy. 1988. No. 3. P. 434–441 (in Russian).

20. Shain S.S. Bioregulation of plant productivity. Moskva: Overlay. 2005. 218 p. (in Russian).

21. Schmelz E.A., Grebenok R.J., Ohnmeiss T.E., Browers W.S. Interaction between *Spinacia oleracea* and *Bradysia impatiens*: A role for phytoecdysteroids // Arch. of Insect Biochem. and Physiol. 2002. V. 51 (4). P. 204–221.

22. Ufimtsev K.G., Shirshova T.I., Volodin V.V. Phytoecdysteroids as deterrents of phytophagous insects. Yekaterinburg. 2009. 89 p. (in Russian).

23. Ufimtsev K.G., Shirshova T.I., Volodin V.V. Phytoecdysteroids as deterrents of phytophagous insects: influence of *Serratula coronata* on the Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) // Uspekhi sovremennoy biologii. 2009. V. 129. No. 3. P. 1–15 (in Russian).

24. Malausa T., Salles M., Marquet V., Guillemaud T., Alla S., Marion-Poll F., Lapchin L. Within-species variability of the response to 20-hydroxyecdysone in peach-potato aphid (*Myzus persicae* Sulzer.) // J. of Insect Physiol. 2006. V. 52 (5). P. 480–486.

Использование зооиндикатора *Viviparus viviparus* L. для оценки масштабов экологической опасности и степени токсичности технической авиационной жидкости «Skykem»

© 2017. С. Х. Солтанов, аспирант,
 Х. Б. Юнусов, к. х. н., доцент, декан биолого-химического факультета,
 Московский государственный областной университет,
 141014, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Володиной, 24,
 e-mail: office@mgou.ru

Работа представляет собой анализ технической авиационной жидкости для санитарных узлов воздушных судов «Skykem» методом зооиндикации. В качестве живого материала выбраны особи живородки речной *Viviparus viviparus* L., как одного из самых распространённых видов биоиндикаторов на территории Московской области. Опыт основан на изучении изменчивости двух показателей: активности кислой фосфатазы и дезоксирибонуклеазы.

Благодаря проведённой аналитической работе удалось определить степень экологической опасности вещества, рассчитать масштабы загрязнения приаэродромных территории. Основываясь на анализе лабораторных данных, найдены пути решения поставленной проблемы. На основе результатов, свидетельствующих об угрозе для окружающей среды, построены графики изменения активности кислой фосфатазы и ДНКазы живородки речной, впервые дана характеристика негативных экологических свойств вещества «Skykem». По результатам исследования сделаны выводы и даны рекомендации по применению данного метода.

Ключевые слова: гражданская авиация, техническая жидкость, «Skykem», тетрадецилтриметиламмоний бромид, экологическая опасность, зооиндикатор, *Viviparus viviparus* L., ДНКазы, кислая фосфатаза.

Using the zooinicator *Viviparus viviparus* L. in order to identify environmental hazards from technical aviation fluid «Skykem»

S. Kh. Soltanov, Kh. B. Yunusov,
 Moscow State Regional University,
 24 V. Voloshinoy St., Mytischy, Moscow region, Russia, 141014,
 e-mail: office@mgou.ru

The work is the analysis of the technical aviation liquid for sanitary facilities of aircrafts “Skykem” using the method of zooindication. The obtained results can be used to control the state of the environment of airport services. Due to a small number of universal methods for studying and determining the environmental harmfulness of aviation technical substances, the study has scientific and practical significance. Determination of the degree of risk in the leakage of this fluid will allow aviation authorities to impose restrictions on the use of the systems of aircraft sanitary units of the substance. This step will lead to creation and adoption of environmentally friendly chemical liquids, the consequence will be reduction of environmental load on the pre-airport land. As the living material, the species of river snail (*Viviparus viviparus* L.) are selected, as one of the most common types of bioindicators in Moscow region. Experience is based on the change in the activity of two values: acid phosphatase and DNase. The experimental data allow us to observe the dynamics of the activity of acid phosphatase and DNase of the river snail (*Viviparus viviparus* L.) in response to acute toxic effects of technical aviation fluid “Skykem”, as well as changes in the activity of investigated enzymes of experimental animals in normal conditions. It is shown that the activity of the studied enzymes varies in relation as to the original value, thus in the experimental group and the control group throughout the whole experiment in water without toxicant.

During the analysis the degree of environmental hazard of the substance is determined, the extent of pollution of the site is calculated. Based on the analysis of laboratory data, the ways of solving the problem were found. Basing on the results, the threat to the environment is indicated, the graphs of changes in the activity of acid phosphatase and DNase of the river snail are built, for the first time the characteristics of negative environmental properties of the substance “Skykem” is given. The dynamics of changes are tracked in activity of enzymes when exposed to shellfish toxic substances. The degree of similarities and differences are evaluated in adaptive changes in the studied enzymes in a time interval. According to the results of the study the conclusions are drawn and recommendations for using this method in a production environment are given.

Keywords: civil aircraft, technical liquid, «Skykem», tetradecyltrimethylammonium bromide, environmental hazard, zooinicator, *Viviparus viviparus* L., DNase, acid phosphatase.

Авиационный узел – многофакторный источник загрязнения окружающей среды. Одним из аспектов его функционирования является растущая с каждым годом утечка авиационных жидкостей, связанная с увеличением объёмов международных авиаперевозок.

Экологическая опасность – это отрицательное воздействие средовых факторов и/или интенсивности их влияния, выходящее за пределы биологической приспособляемости экосистем к изменениям среды обитания и создающее прямую угрозу жизни и здоровью населения [1]. «Skykem» – вещество для обработки санитарных узлов воздушных судов гражданской авиации [2, 3], часто применяемое в аэропортах Московского авиационного узла (МАУ). Оно относится к факторам опосредованного действия (загрязнение природной среды).

По параметрам острой токсичности (по ГОСТ 12.1.007-76) средство «Skykem» относится к 3 классу опасности (умеренно опасное вещество) при введении в желудок, к 4 классу опасности (малоопасное вещество) – при нанесении на кожу и при ингаляционном воздействии паров. ПДК в воздухе рабочей зоны для аэрозоля средства составляет 1,0 мг/м³. К биологическим эффектам средства можно отнести снижение содержания РНК в жабрах и ноге моллюска в 1,4–1,5 раза [4], угнетение процессов биосинтеза белка в данных органах, высокий уровень окислительных процессов и рост активности ферментов антиоксидантной защиты.

Целью исследования было определение масштабов экологической опасности и степени токсичности технической авиационной жидкости «Skykem».

Объекты и методы

Кислая фосфатаза и ДНКаза – биомаркеры токсического воздействия на гидробионтов. Метод основан на изменении активности представленных ферментов и запатентован лабораторией «Экологической биохимии» Московского государственного областного университета, который универсален и прост в применении.

В качестве биологического материала для исследования были непосредственно использованы пищеварительные железы (гепатопанкреас) пресноводного моллюска живородки речной (*Viviparus viviparus* L.). Выбор моллюсков в качестве объекта исследования основывался на том, что в адаптации к изменяющимся условиям среды ведущую роль у них играют

процессы, происходящие на уровне клеточного и тканевого метаболизма. Ареал гидробионта включает также Европу, Закавказье и Малую Азию, что позволяет использовать результаты работы для применения на территории других субъектов РФ или государств.

Ввиду особенностей размножения (яйцеживорождение) и образа жизни – постоянное нахождение в составе бентоса, этот моллюск не способен к дальним миграциям, при этом встречается практически в любых водоёмах, вне зависимости от величины антропогенной нагрузки на них, что позволяет рассматривать данный вид, как обладающий широким адаптивным потенциалом к гидрохимическому режиму. Сбор моллюсков осуществляли в октябре 2016 г. в Пестовском водохранилище (с. Тишково Пушкинского района Московской области) с поверхности водной растительности и дна прибрежной зоны водоёма. Эксперимент проводился в научно-исследовательской лаборатории экологической биохимии на базе Московского государственного областного университета.

Акклимацию подопытных животных проводили в аквариумах, заполненных водой, растениями и микроорганизмами, отобранными в месте сбора моллюсков, при постоянной аэрации в течение двух недель. На дно каждого аквариума был насыпан толстый (8–10 см) слой промытого песка, ниже которого находился речной ил. Водная экосистема состояла из типичных представителей флоры и фауны водоёмов Московской области: водорослей, инфузорий, амёб. Температура содержания животных находилась в автономном режиме, в диапазоне от 20 до 29 °С. Использовался естественный суточный световой режим (день/ночь), а также обогреватель с автоматической регулировкой температуры.

Затем в искусственно созданную природную среду добавляли исследуемое авиационное вещество для санитарных узлов воздушных судов «Skykem». Оно содержит в своём составе тетрадецилтриметиламмоний бромид (ТДТМА) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{NBr}(\text{CH}_3)_3$ в количестве 36% от веса жидкости [5, 6]. Токсикант использовали в разведении с водой, соответствующем требованиям к использованию, согласно инструкции по применению (2,5 г/л). Время экспозиции составляло 2, 4, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96 часов [7].

По истечении времени экспозиции у моллюсков извлекали пищеварительную железу методом вивисекции, промывали её 0,15 М раствором NaCl и гомогенизировали в охлаждённой фарфоровой ступке в течение 5 минут растиранием с битым кварцевым стеклом, за-

тем экстрагировали белки. В качестве экстрагирующей жидкости использовали 0,5%-ный раствор тритона X-100 на дистиллированной воде, прибавляемый в десятикратном объёме по отношению к навеске ткани.

Контролем служили особи, отобранные из аквариума непосредственно перед опытом, а также содержащиеся в воде без добавления токсиканта, при прочих равных условиях, в течение тех же временных интервалов. Проводимый опыт основывался на определении активности кислой фосфатазы и ДНКазы [8–10]. Колебания данных показателей позволяет определить степень реакции организма животного на воздействие внешнего фактора, в данном случае средства «Skykem».

Активность кислой фосфатазы определяли по скорости гидролиза модельного субстрата пара-нитрофенилфосфата (п-нитрофенилфосфата) спектрофотометрическим методом. За единицу активности фермента принималось такое его количество, которое катализирует образование 1 мкМ п-нитрофенола за 1 минуту при 37 °С.

С помощью флуориметрического метода была определена активность ДНКазы. Метод основан на использовании в качестве субстрата синтетического олигонуклеотидного фрагмента ДНК (одно- или двухцепочечного), меченого парой флуорофоров, представленной сигнальным красителем и тушителем флуоресценции, аналогично зондам типа TaqMan [11]. Для детекции флуоресценции был использован спектрофлуориметр «Флюорат-02» [12, 13].

За единицу активности фермента принимали такое его количество, которое приводит к увеличению флуоресценции в реакционной смеси за 1 мин. Удельную активность ДНКазы выражали в единицах активности на 1 мг белка с учётом разбавления.

Результаты исследования

Приняв контрольные значения активности кислой фосфатазы за единицу, построен график изменения активности фермента под воздействием токсиканта, из которого видно, что в целом происходит значительное увеличение активности фермента (рис. 1).

На всём протяжении экспозиции наблюдается циклическое изменение активности кислой фосфатазы – после резкого всплеска (в 1,5–2 раза) происходит снижение активности практически до уровня контроля, после чего она вновь начинает расти. Периоды роста активности находятся во временных интерва-

лах от 0 до 4, от 12 до 24 и от 36 час экспозиции до окончания эксперимента, таким образом, изменение активности фермента проходит 2 цикла. По истечении 36 час экспозиции активность кислой фосфатазы снижается практически до контрольного значения к 36 час. Главным доказательством экологической опасности для окружающей среды технической жидкости стал тот факт, что после 60 час экспозиции наблюдалась полная гибель исследуемых животных, хотя длительность эксперимента должна была составлять 72 час.

Приняв контрольные значения активности ДНКазы за единицу, построен график изменения активности фермента под воздействием токсиканта (рис. 2). В целом, можно отметить более низкие значения активности фермента по сравнению с контролем. Однако, при экспозиции от 24 до 48 час происходит резкое увеличение ферментативной активности: практически в 3 раза по отношению к контрольным значениям. От 48 час до гибели моллюсков значения активности фермента были практически равны 0. Это подтверждает факт острой токсичности вещества. В первые часы воздействия токсиканта организм зооиндикатора пытается активно поддерживать внутренний гомеостаз, но, обладая узким диапазоном толерантности, не способен на длительное восстановление. Значения, близкие к нулю свидетельствуют о практически полном отказе в работе жизненно-важных систем животного.

Для определения масштабов загрязнения были взяты данные по одному из крупнейших аэропортов, как Европы, так и МАУ, аэропорта «Домодедово». Среднее количество рейсов в сутки за 2017 г. составляет порядка 700 [14]. При этом обслуживание санитарных узлов производится у более половины воздушных судов. Возьмём самый нижний порог – 50%. При заправке происходит утечка жидкости объёмом 1,5 л. За сутки получается 525 л. Годовое функционирование аэропорта даёт неконтролируемый слив в объёме 191 625 л. В данных расчётах учитывается только та жидкость, которая не попадает в сливные отсеки обслуживающих автомобилей, а вытекает на перрон. В расчёт не берём испарение – в тёплое время года и кристаллизацию – в холодное. По результатам эксперимента удалось выяснить, что исследуемое вещество в течение 60 час способно полностью уничтожить популяцию моллюсков вне зависимости от их количества. Высота средней особи составляет 3 см. Для полного погружения в жидкую среду представителя исследуемой фауны необходи-

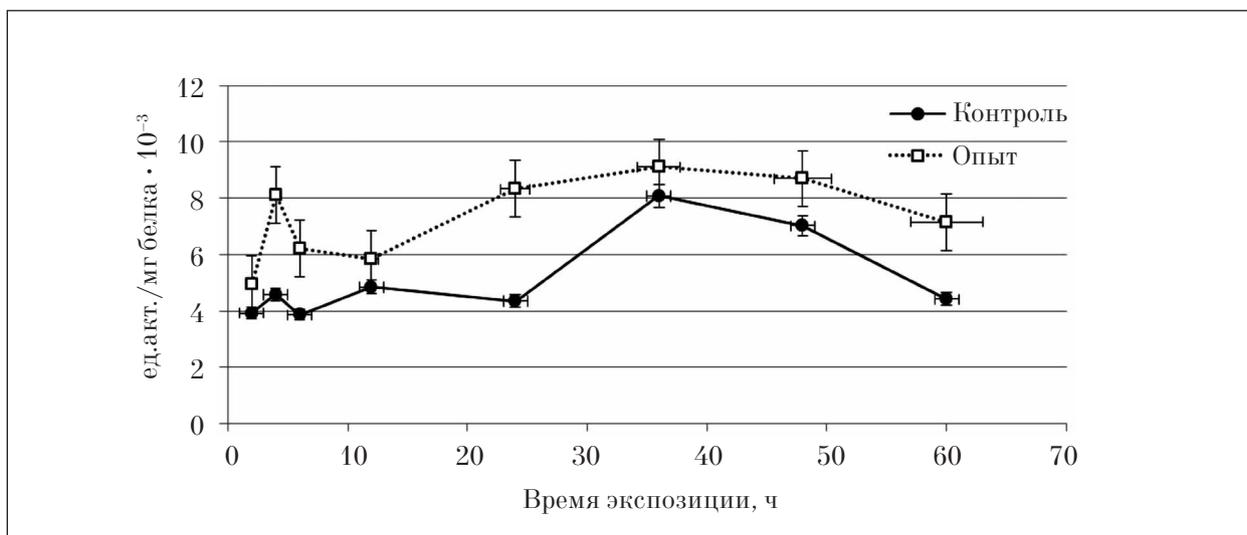


Рис. 1. Активность кислой фосфатазы живородки речной *Viviparus viviparus* L. при действии раствора «Skykem» (2,5 г/л)

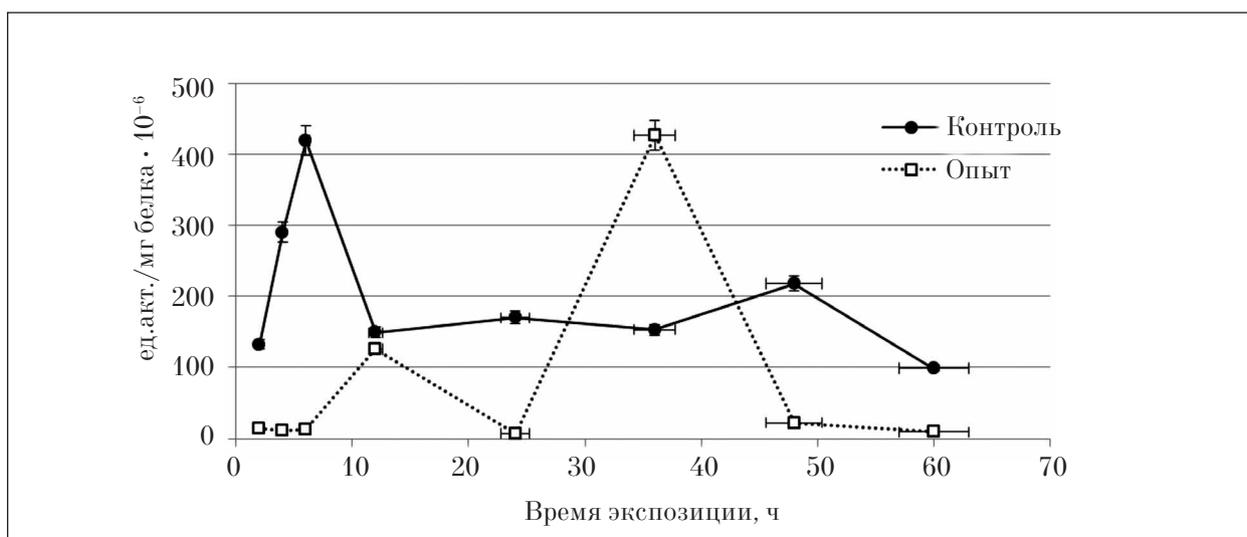


Рис. 2. Активность ДНКазы живородки речной *Viviparus viviparus* L. при действии раствора «Skykem» (2,5 г/л)

ма высота столба, равная 5 см. Тогда теоретическая площадь загрязнения составит $191\ 625 \cdot 10^3 \text{ см}^3 / 5 \text{ см} = 3833 \text{ м}^2$. Полученный результат свидетельствует о большом масштабе экологических проблем только от одних технологических недостатков системы заправки.

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты удалось сопоставить с данными по влиянию ионов никеля и фторид-ионов на активность ферментов в схожих опытах [15, 16]. В работе [15] исследуется влияние ионов никеля, угнетающих активность кислой фосфатазы при времени воздействия более 10 часов. Отмечается резкий всплеск активности фермента к 4 часу экспозиции в опытной группе животных.

Идентичная ситуация, как можно проследить из данных рисунка 1, наблюдается и в случае интоксикации авиационной жидкостью.

В работе [16] изучена активность фермента в результате действия фторид-ионов. На протяжении первых 12 час эксперимента активность кислой фосфатазы несколько раз резко изменялась. При этом в интервалах 0–2 и 4–6 час наблюдалось угнетение активности, тогда как от 2 до 4 час и от 6 до 12 час активность фермента возрастала, достигая своего максимального значения. При экспозиции равной 60 час и более изменение активности ферментов становится стабильным, что свидетельствует об окончании процессов адаптации при некотором снижении метаболизма. При

сопоставлении с полученными данными отмечали резкую активность фермента на 4 час, что говорит о высоком стрессе у организма.

Отличительной особенностью влияния «Skykem» стало отсутствие экспозиции на 60 час в сравнении с другими опытами. В связи с этим можно сделать вывод, что токсичность «Skykem» выше, чем у фторид-ионов и ионов никеля.

Заключение

Таким образом, использование метода, основанного на изменении активности кислот фосфатазы и ДНКазы живородки речной *Viviparus viviparus* L., позволило выявить скрытые негативные эффекты санитарно-гигиенической жидкости «Skykem».

В ходе исследования методом биоиндикации определена степень токсичности санитарно-гигиенической жидкости «Skykem». Поставленный опыт наглядно продемонстрировал сокрытие производителем информации о санитарно-гигиенической характеристике санитарно-гигиенической жидкости «Skykem».

В ходе работы определён масштаб загрязнения в течение годовой работы одного из аэропортов Московского авиационного узла. Проведена сравнительная характеристика токсичности с другими поллютантами. Универсальность поставленного опыта даёт возможность изучить и другие технические авиационные вещества (масла, рабочие жидкости гидросистем воздушных судов, противообледенительные смеси [17]) на предмет отрицательного воздействия на состояние окружающей среды. Негативные изменения в ферментативной активности зооиндикатора являются показателем опасности применения авиационной жидкости «Skykem».

Для предотвращения или снижения риска загрязнения природных и антропогенных систем необходимо применять современные экологические методы очищения окружающей среды, например фиторемедиацию [18]. Проведение постоянного мониторинга с учётом климатических особенностей региона расположения авиационных узлов позволит уменьшить вероятность ухудшения качества природных сред и объектов.

Литература

1. Peter Calow The encyclopedia of ecology & environmental management. John Wiley & Sons, 2009. P. 336–337.
2. SkyKem – Advanced hygiene technology for the aircraft industry [Электронный ресурс] <http://www.skykem.co.uk/> (Дата обращения 16.08.2017).

3. База данных Роспотребнадзора. Информация по свидетельству 77.99.1.2.U.2081.4.10 «Жидкость для санузлов воздушных судов» («Aircraft Toiletfluid») [Электронный ресурс] <http://www.crc2.ru/all/77.99.1.2.U.2081.4.10> (Дата обращения 16.08.2017).

4. Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии. Институт биологии южных морей НАН Украины / Под ред. Г.Е. Шульмана, А.А. Солдатова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 323 с.

5. Солтанов С.Х., Юнусов Х.Б. Деградация окружающей среды вследствие утечки технической жидкости «SkyKem» при наземном обслуживании воздушных судов гражданской авиации // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 1. С. 64–69.

6. Карташева Н.Н., Остроумов С.А. Тетрадецилтриметиламмоний бромид // Токсикологический вестник. 1998. № 5. С. 30–32.

7. Иваненко Н.В. Экологическая токсикология: Учебное пособие. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2006. 108 с.

8. Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В. Кислая фосфатаза как биомаркер токсического воздействия на гидробионтов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 1. С. 8–12.

9. Цветков И.Л., Цветкова М.А., Зарубин С.Л. Оценка качества сточных и природных вод с помощью биохимического показателя – активности кислот фосфатазы пресноводных моллюсков // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 62–70.

10. National Center for Biotechnology Information. Gene. DNASE1 deoxyribonuclease 1. [Электронный ресурс] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=1773> (Дата обращения 16.08.2017).

11. Цветков И.Л., Поликарпова Л.В., Коничев А.С. Новый метод количественного определения активности дезоксирибонуклеазы с использованием флуоресцентно меченых олигонуклеотидов в качестве субстрата // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 3. С. 46–51

12. Анализатор жидкости «Флюорат®-02-2М»: описание [Электронный ресурс] <http://www.lumex.ru/catalog/flyuorat-02-2m.php> (Дата обращения 16.08.2017).

13. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.

14. Мобильно обо всём: Авиация. Оперативно и доступно обо всём, касающемся авиации [Электронный ресурс] <http://avia.mvsm.ru/Airport.aspx?Mode=ststs&Code=DNE&IDConten=0&IDMenu=0&Dir=1> (Дата обращения 16.08.2017).

15. Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В. Изменение активности ДНКазы живородки речной под влиянием

катионов никеля // Актуальные проблемы биологической и химической экологии: Сборник материалов V международной научно-практической конференции. 2016. С. 224–228.

16. Романенко Н.С., Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В. Изменение активности ДНКазы живородки речной под воздействием фторид-иона // Проблемы экологии Московской области: Сборник научных материалов. Москва, 2015. С. 159–161.

17. Солтанов С.Х. Экологические последствия применения противообледенительных жидкостей «Octaflo EG» и «Maxflight 04» при обработке воздушных судов гражданской авиации в осенне-зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). С. 140–143.

18. Кривошея И.В., Солтанов С.Х., Лялина И.Ю., Юнусов Х.Б. Применение фиторемедиации как одного из эффективных и перспективных методов очистки почв от тяжёлых металлов на территориях, прилегающих к аэродромам и автозаправочным станциям // Проблемы экологии Московской области: Сборник научных материалов. Москва, 2015. С. 84–87.

References

1. Peter Calow The encyclopedia of ecology & environmental management. John Wiley & Sons, 2009. P. 336–337.

2. SkyKem – Advanced hygiene technology for the aircraft industry [Internet resource] <http://www.skykem.co.uk/> (Accessed: 16.08.2017).

3. The database of the CPS. Information on testimony 77.99.1.2.2081.4.10 “Liquid for toilets of aircraft” (“AircraftToiletfluid”) [Internet resource] <http://www.crc2.ru/all/77.99.1.2.U.2081.4.10> (Accessed: 16.08.2017) (in Russian).

4. Black sea mollusks: elements of comparative and environmental biochemistry / Eds. G.E. Shulman, A.A. Soldatov. Institute of biology of southern seas of NAS of Ukraine. Sevastopol: EKOSY-Gidrofizika, 2014. 323 p. (in Russian).

5. Soltanov S.H., Yunusov H.B. Degradation of the environment due to leakage of “Skykem” liquid at ground handling of civil aircrafts // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye Nauki. 2016. No. 1. P. 64–69 (in Russian).

6. Kartasheva N.N., Ostroumov S.A. Tetradecyltrimethylammonium bromid // Toksikologicheskij vestnik. 1998. No. 5. P. 30–32 (in Russian).

7. Ivanenko N.V. Environmental toxicology: a tutorial. Vladivostok: VGUES, 2006. 108 p. (in Russian).

8. Droganova T., Polykarpova L. Acid phosphatase as a biomarker of toxic effects on aquatic organisms // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye Nauki. 2016. No. 1. P. 8–12 (in Russian).

9. Tsvetkov I.L., Tsvetkova M.A., Zarubin S.L. Assessment of the quality of natural and waste waters with a biochemical index of the activity of acid phosphatase in freshwater mussels // Vodnye resursy. 2006. V. 33. No. 1. P. 62–70 (in Russian).

10. National Center for Biotechnology Information. Gene. DNASE1 deoxyribonuclease 1. [Internet resource] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=1773> (Accessed: 16.08.2017).

11. Tsvetkov I.L., Polikarpova L.V., Konichev A.S. A new method of quantitative determination of DNAase activity using fluorescently labeled oligonucleotides as substrate // Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye Nauki. 2012. No. 3. P. 46–51 (in Russian).

12. The fluid analyzer “FluoratR-02-2M”: description [Internet resource] <http://www.lumex.ru/catalog/flyuorat-02-2m.php> (Accessed: 16.08.2017) (in Russian).

13. The Federal law “On ensuring unity of measurements” from 26.06.2008 No. 102-FZ (in Russian).

14. Aviation. Quickly and available about everything related to aviation [Internet resource] <http://avia.mvsm.ru/Airport.aspx?Mode=stats&Code=DME&IDContent=0&IDMenu=0&Dir=1> (Accessed: 16.08.2017) (in Russian).

15. Droganova T.S., Polikarpova L.V. The change of activity DNAase the river snail under the influence of cations of nickel // Actual problems of biological and chemical ecology: Sbornik materialov V mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii. 2016. P. 224–228 (in Russian).

16. Romanenko N.S., Droganova T.S., Polikarpova L.V. Acid phosphatase activity in the DNAase of a river snail under the influence of fluoride ions // Problems of ecology of the Moscow region: Sbornik nauchnykh materialov. Moskva, 2015. P. 159–161 (in Russian).

17. Soltanov S.H. The ecological consequences of applying of the de-icing and anti-icing liquids “Octaflo EG” and “Maxflight 04” in processing civil aircrafts in autumn-winter period // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2016. No. 6 2 (48). P. 140–143 (in Russian).

18. Krivosheya I.V., Soltanov S.H., Lyalina I.Yu., Yunusov H.B. The use of phytoremediation as one of the effective and perspective methods of soil purification from heavy metals at territories adjacent to airfields and petrol stations // Problems of ecology of the Moscow region: Sbornik nauchnykh materialov. Moskva, 2015. P. 84–87 (in Russian).

Траметоидные трутовики Русской равнины как источник полисахаридов с криопротекторными свойствами

© 2017. Т. В. Полежаева¹, д. б. н., зав. лабораторией,
 А. Н. Худяков¹, к. б. н., с. н. с., М. И. Сергущкина¹, м. н. с.,
 И. Г. Широких^{1,2,3}, д. б. н., зав. лабораторией,
 А. А. Широких^{2,3}, д. б. н., в. н. с., О. М. Безмельцева¹, м. н. с.,
 О. Н. Соломина¹, к. б. н., н. с., О. О. Зайцева¹, к. б. н., с. н. с.,

¹Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
 167982, Россия, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50,

²Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства
 Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 а,

³Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
 e-mail: ddic@yandex.ru, irgenal@mail.ru

С помощью криоскопического метода изучена способность эндополисахаридов грибов рода *Trametes* (*T. hirsute*, *T. ochracea*, *T. versicolor*, *T. suaveolens*) и *Cerrena unicolor* изменять температуру замерзания 3,5% раствора глицерина. Установлено, что полисахариды *T. ochracea* в концентрациях 0,1–1,0% в разной степени повышают осмолярность раствора глицерина, что способствует понижению температуры его замерзания. Полученные данные о сохранности мембран лейкоцитов, фагоцитарной активности нейтрофилов, подвергнутых замораживанию и хранению при -80 °С в среде глицерина и глицерина с эндополисахаридами *T. ochracea* подтверждают предположение авторов о том, что снижение температуры замерзания раствора глицерина в присутствии полисахаридов способствует снижению риска повреждений клеток при замораживании. Вероятно, образующиеся связи между функциональными группами глицерина и полисахаридов удерживают большее количество молекул воды, что способствует образованию многочисленных центров кристаллизации, уменьшению размера внеклеточных кристаллов льда, обеспечивая сохранность мембран клеток.

Ключевые слова: ксилотрофные базидиомицеты, траметоидный морфотип, эндополисахариды, осмолярность, температура кристаллизации, лейкоциты, жизнеспособность клеток.

Polypores of the Russian Plain as a source of polysaccharides with cryoprotective properties

T. V. Polezhayeva¹, A. N. Khudyakov¹, M. I. Sergushkina¹,
 I. G. Shirokikh^{2,3}, A. A. Shirokikh^{2,3}, O. M. Bezmeltseva¹,
 O. N. Solomina¹, O. O. Zaytseva¹

¹Institute of Physiology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
 50 Pervomayskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

²N.V. Rudnitskiy Zonal North-East Agricultural Research Institute,
 166 a Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

³Vyatskiy State University,
 36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
 e-mail: ddic@yandex.ru, irgenal@mail.ru

Using the cryoscopic method, the ability of endopolysaccharides of fungi of the genus *Trametes* (*T. hirsute*, *T. ochracea*, *T. versicolor*, *T. suaveolens*) and *Cerrena unicolor* to change the freezing point of a 3.5% solution of glycerin was studied. It has been established that the polysaccharides of *T. ochracea* in a concentration of 0.1–1.0% increase the osmolality of the glycerol solution to a different extent, which contributes to lowering of its freezing point. The obtained data on preservation of leukocyte membranes, phagocytic activity of neutrophils frozen and stored at -80 °C in glycerol

and glycerol with *T. ochracea* endopolysaccharides confirm the authors' assumption that a decrease in the freezing temperature of a solution of glycerol in the presence of polysaccharides helps to reduce the risk of cell damage when frozen. Probably, the resulting bonds between the functional groups of glycerin and polysaccharides retain more water molecules, which contributes to formation of numerous crystallization centers, a decrease in the size of extracellular ice crystals, ensuring preservation of cell membranes.

Keywords: xylotrophic basidiomycetes, trametoid morphotype, endopolysaccharides, osmolarity, crystallization temperature, leukocytes, cell viability.

На всей территории Русской равнины, в древостоях зоны тайги, смешанных и лиственных лесов, в том числе в городских насаждениях и парках, широко представлены ксилотрофные базидиальные грибы, способные разлагать древесину и утилизировать биомассу опада. Их значение в природе, кроме разложения древесного детрита лесов, связано с корректировкой структур лесных сообществ и поддержанием баланса накапливаемой и разлагаемой в лесных экосистемах биомассы [1]. Это единственная группа организмов, способная к полной деструкции лигноцеллюлоз, обеспечивающая мобилизацию депонированного в древесине углерода [2]. Среди огромного числа ксилотрофных базидиомицетов достаточно компактную группу составляют трутовые грибы. Некоторые из них – опасные патогены лесных деревьев, большинство же приносят пользу, разлагая упавшие ветки, пни, поваленные стволы деревьев и обеспечивая, тем самым, круговорот веществ в лесах [3]. Как все грибы, трутовики состоят из мицелия, который находится в древесине, разрушая её в процессе питания, и плодового тела (базидиомы), которое служит для размножения гриба.

Трутовики траметоидного морфотипа характеризуются сидячими или почти распростёртыми плодовыми телами плотной пробково-кожистой консистенции. Поверхность шляпок бархатистая, с возрастом иногда становится голой. Однослойный гименофор (нижняя поверхность шляпки) трубчатый, лабиринтовидный или пластинчатый, иногда зубчато-шиповидный. В настоящее время траметоидные трутовики рассматривают в составе нескольких родов, относящихся к семействам Polyporaceae и Fomitopsidaceae. Границы родов в настоящее время уточняются [4].

Типичными представителями траметоидных трутовок являются виды родов *Trametes* и *Cerrena*, растущие преимущественно на деревьях лиственных пород. Большинство представителей рода *Trametes* имеют консольные или сидячие плодовые тела, однолетние или зимующие, которые растут чаще группами, но могут встречаться и одиночные плодовые тела [5]. Сходны с ними по внешнему облику и грибы рода *Cerrena* [6].

В последние десятилетия трутовые грибы, благодаря своему метаболическому потенциалу, заняли одно из ведущих мест в качестве объектов биотехнологии. Гриб *C. unicolor* известен как продуцент экстрацеллюлярных фенолоксидаз [7], проявляет лектиновую активность [8], а экзополисахариды церрены обладают гипогликемическим действием [9]. Грибы рода *Trametes* тоже содержат различные биологически активные соединения (БАС), представляющие интерес для использования в медицине, сельском хозяйстве, различных промышленных производствах. Так, виды *T. versicolor*, *T. hirsuta*, *T. ochracea*, *T. villosa*, *T. gallica* являются широко известными продуцентами лакказы – ферментов биодеградации лигнина и соединений, имеющих с ним сходную структуру. Лакказы нашли своё применение при экологически безопасном изготовлении древесной пластики, древесноволокнистых плит, блоков, картона, а также для отбеливания целлюлозы [10]. На основе *T. hirsuta* создан биопрепарат сельскохозяйственного назначения, и показана возможность его применения для получения зрелого компоста из навоза крупного рогатого скота [11]. Другой представитель траметесов – *T. pubescens* явился основой нового ветеринарного препарата с выраженным антимикробным эффектом – Траметина [12, 13]. Кроме антибактериальной, *T. pubescens* обладает ярко выраженной иммунной активностью и является антиоксидантом [13].

В фармакологическом отношении хорошо изучен вид *T. versicolor*, который проявляет антибактериальную активность в отношении условно-патогенной микрофлоры кишечника человека [14] и рекомендован как потенциальный продуцент новых антибиотиков для лечения заболеваний, вызываемых стафилококками [15]. Экстракты *T. versicolor* проявляют вируснейтрализующий эффект в отношении вирусов ВИЧ-1, гриппа H5N1 и H3N2 [16]. Особый интерес в производстве лекарственных препаратов представляют полисахариды *T. versicolor* с иммуномодулирующими свойствами [17]. Японская фирма «Sankyo Co Ltd.» выпускает коммерческий препарат Крестин (PSK), который содержит высокоочищенные

Объекты и методы

иммуномодулирующие протеинсодержащие полисахариды этого трутовика. Крестин используется в онкологии в сочетании с химио- или радиотерапией, а также в качестве средства поддерживающей терапии [18]. На основе других штаммов *T. versicolor* в Китае разработан противоопухолевый препарат PSP, а в России биологически активная добавка Трاملан [16].

В настоящее время для получения БАС из базидиальных грибов используются методы глубинного (погружённого) культивирования на жидких питательных средах, целью которых является получение биомассы мицелия грибов для последующего извлечения необходимых соединений. Основанием к широкому развитию биотехнологических методов послужили результаты многочисленных исследований, показавшие, что в глубинном мицелии, как и в плодовых телах, содержатся важнейшие БАС. По их содержанию мицелий не уступает плодовым телам, а по накоплению некоторых компонентов, включая полисахариды, превосходит их [17, 19].

Важным условием получения новых биотехнологических продуктов является поиск активных штаммов базидиальных грибов в природных местообитаниях. Выявление и выделение новых видов и штаммов грибов из природной среды в культуру открывает перспективы пополнения коллекций активными продуцентами не только для разработки новых фармакологических препаратов против болезней, но и для развития других аспектов медицинской биотехнологии, в частности, для криоконсервации.

Несмотря на большое количество веществ, обладающих криопротекторными свойствами, в медицинской и лабораторной практике используют ограниченный круг соединений, среди которых применение часто находит глицерин, который, к сожалению, характеризуется определённой токсичностью [20]. В связи с этим в составе консервирующих сред глицерин целесообразно комбинировать с другими, непроницающими криопротекторами, например, олигосахарами, которые повышают вязкость среды и являются энергетическим субстратом. Используют с этой целью также пектины различных растений [21]. Исходя из предположения, что грибные полисахариды могут обладать сходными с пектинами растений криостатическими эффектами, целью настоящей работы являлось изучение способности полисахаридов ряда траметоидных трутовиков обеспечивать сохранность клеток при замораживании.

Объектами исследования служили траметоидные трутовики *Trametes versicolor*, *T. ochracea*, *T. hirsuta*, *T. suaveolens*, *Cerrena unicolor*, собранные в городских садах и парках г. Санкт-Петербурга и идентифицированные И. В. Змитровичем (БИН им. В. Л. Комарова). Выделение грибов в мицелиальную культуру проводили из базидиоспор на агаризированном пивном сусле, разведённом в 3 раза (4 ° Балинга) с добавлением 100 мкг/мл стрептомицина для ограничения роста бактерий. При появлении мицелия его несколько раз пересаживали на новую стерильную среду того же состава. Контроль чистоты мицелиальной культуры проводили микроскопически, отмечая наличие пряжек и септ, характерных для мицелия базидиальных грибов, и отсутствие неспецифических, тонких, выщипыхся гиф грибов-микотрофов.

Для получения полисахаридов грибы выращивали в жидкой питательной среде того же состава, стационарно с дополнительной аэрацией (6 л/мин) в течение 10 сут при комнатной температуре. Засев проводили путём помещения в колбу с жидкой средой агаровых блоков, диаметром 5 мм, вырезанных из периферической части колоний, выращенных на агаризованном сусле. По завершении инкубации мицелий отделяли от культуральной жидкости при помощи сита, промывали до светлой воды, высушивали при 60 °С. Для экстракции эндополисахаридов (ЭНП) навеску сухого мицелия массой 3 г заливали 50 мл дистиллированной воды, нагретой до 70 °С и оставляли на сутки. Для осаждения полисахаридной фракции к 50 мл полученного экстракта добавляли 100 мл 96% этанола и полученную взвесь отстаивали при 4 °С в течение суток. Осадок отделяли декантацией и упаривали на водяной бане (85 °С) до сухого остатка и взвешивали.

Осмолярные концентрации (мОсм/л) и температуры замерзания водных растворов полученных ЭНП в концентрациях 0,5–1% вес/объём, глицерина – 3,5%, а также смесей ЭНП с глицерином определяли с помощью криоскопического метода на приборе осмометр-криоскоп ОСКР-1 (НПП «Буревестник», С.-Петербург). Выбор указанных концентраций эндополисахаридов был основан на ранее полученных данных об использовании пектинов в составе криозащитных сред [21]. Абсолютная погрешность при определении осмолярной концентрации вещества в диапазоне измерений от 0 до 500 мОсм/л составляла 2,0; температуры замерзания в диапазоне от -0,930 до -3,720 °С

составляла $\pm 0,010$ °С. Исследуемый раствор объемом 0,3 мл помещали в пластиковую кювету, погружали в неё измерительный элемент и устанавливали в термостатируемую камеру прибора.

На следующем этапе исследования проводили замораживание клеток в среде, содержащей глицерин и глицерин с ЭНП. В качестве биологического объекта для криоконсервирования использовали гепаринизированную венозную кровь здоровых женщин-добровольцев (23–40 лет). При этом оценивали жизнеспособность лейкоцитов, как наиболее чувствительных к факторам замораживания-отогрева клеток крови, содержащих ядро и ферментативный гранулярный комплекс. Кровь смешивали с криоконсервантом (1:1), содержащим ЭНП, классический криопротектор проникающего действия глицерин (Самарамедпром, Россия) в низкотоксичной (7,0%) концентрации и антикоагулянт трилон Б – 1%.

Охлаждение клеток осуществляли по ранее разработанным медленным нелинейным программам с использованием электрических морозильников. После 15 минут экспозиции лейкоцитов с криоконсервантом при комнатной температуре в полимерном контейнере «Компопласт 300» (Синтез, Россия), последний помещали на 15 мин в спиртовую ванну (96% этиловый спирт), охлаждаемую при -20 °С в электроморозильнике «Derby» (Дания). После этого контейнер переносили для дальнейшего замораживания и хранения в воздушную среду камеры электроморозильника на -80 °С «Vestfrost» (Дания). Средняя скорость охлаждения от $+20$ до -20 °С составила $2,6$ °/мин, далее до -80 °С по $3,5$ °С/мин. Через 1 сут хранения образцы отогревали в 20-литровой водяной ванне ($+38$ °С) при интенсивном покачивании контейнера в течение 20 сек.

После отогрева образцов оценивали методом световой микроскопии (Nikon H550S, Япония), как описано ранее [22]: общее количество лейкоцитов в камере Горяева; степень криоустойчивости различных популяций клеток в мазках, окрашенных по Май-Грюнвальду и Романовскому; целостность клеточной мембраны лейкоцитов в пробах с 1,0% раствором суправитального красителя эозина; процент фагоцитирующих нейтрофилов с использованием инертных частиц латекса диаметром 0,08 мкм (Sigma-Aldrich, Германия).

При статистической обработке данных для каждого показателя вычисляли среднее арифметическое значение и среднее квадратичное отклонение ($M \pm \delta$). Для выявления статисти-

чески значимых различий между группами применяли непараметрический критерий Уилкоксона [23] с использованием компьютерной программы «BIOSTAT».

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе исследования определяли криоосмотические характеристики используемых в работе веществ: осмолярность, характеризующую создаваемое растворами осмотическое давление, и температуру замораживания. В зависимости от видовой принадлежности трутовиков осмолярность 1% растворов грибных ЭНП изменялась от 24 до 35 мОсм/л, т. е. была очень низкой (табл. 1).

При этом замораживание 1%-ных растворов ЭНП трутовых грибов происходило в диапазоне температур от $-0,05$ до $-0,077$ °С, тогда как температура замораживания дистиллированной воды составляет $-0,002$ °С. Наиболее высокой осмолярностью характеризовался используемый в работе 3,5%-ный раствор глицерина – 476 мОсм/л, температура его замораживания составила $-0,876$ °С.

Далее были исследованы среды, включающие комбинации 3,5%-ного раствора глицерина с ЭНП трутовиков, взятых в концентрационных рядах (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0%). Выявлено, что только добавление к глицерину ЭНП *T. ochracea* в концентрациях от 0,5 до 1,0% способствует повышению осмолярности смеси, что сопровождалось понижением температуры замораживания раствора (рис. 1).

ЭНП других исследованных трутовиков (*T. hirsute*, *T. versicolor*, *C. unicolor*) в комбинации с 3,5%-ным глицерином оказывали на криоосмотические свойства получаемых смесей аналогичное действие, однако их влияние было статистически менее значимым и прослеживалось лишь в узком диапазоне концентраций (данные не приведены). Повышение осмолярности смеси ЭНП *T. ochracea* с глицерином и, как следствие, понижение температуры её замораживания, обусловлено, вероятно, тем, что имеющиеся в составе молекул полисахаридов функциональные группы образуют с гидроксильными группами глицерина связи, формируя тем самым сеть, удерживающую большее количество молекул воды, чем каждый компонент смеси по отдельности.

Выявленная особенность ЭНП *T. ochracea*, по нашему мнению, может способствовать снижению риска повреждений клеток при замораживании. Известно, что смещение

Таблица 1

Криосмотические характеристики используемых в работе веществ

Вещество	Осмолярность, мОсм/л	Криоскопическая точка, °С
Дистиллированная вода	0	-0,002
Глицерин (3,5%) бут. 1992 ГОСТ	476	-0,876
Трилон Б 0,1%	9	-0,015
Глицерин 7% + трилон Б 0,1%	799	-1,483
ЭНП <i>T. ochracea</i> 1%	24	-0,050
ЭНП <i>T. hirsute</i> 1%	35	-0,077
ЭНП <i>T. versicolor</i> 1%	27	-0,063
ЭНП <i>T. suaveolens</i> 1%	28	-0,065
ЭНП <i>C. unicolor</i> 1%	30	-0,071

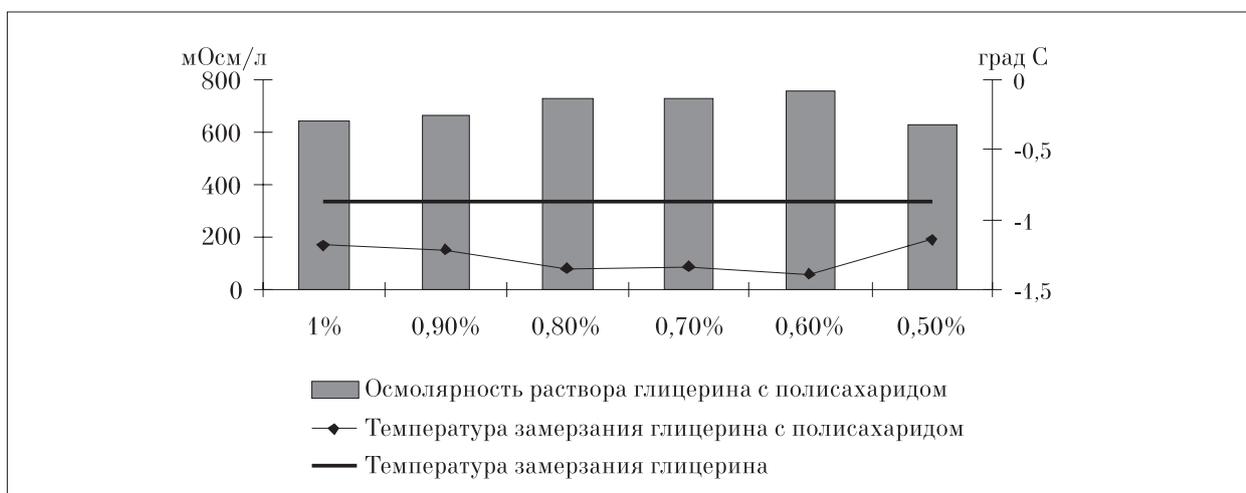


Рис. 1. Изменение температуры замерзания 3,5%-раствора глицерина при наличии в среде эндополисахаридов *T. ochracea* в концентрационном ряду

температуры кристаллизации воды в клетках в диапазон более низких температур на начальных этапах охлаждения способствует постепенному «вымораживанию» воды с образованием мелкочаеистой, менее травматичной структуры льда [20].

Для проверки данной гипотезы клетки крови были заморожены в среде глицерина (3,5%), в смеси глицерина (3,5%) с ЭНП *T. ochracea* (0,5%), а также в смеси глицерина (3,5%) с ЭНП *T. versicolor* (0,5%). Определение методом световой микроскопии степени криоустойчивости различных популяций клеток, перенесших воздействие температуры -80 °С в течение 1 сут с последующим отогреванием при 38 °С в течение 20 сек, позволило установить, что применение для криоконсервации среды, включающей комбинацию 3,5%-ного раствора глицерина с ЭНП *T. ochracea*, в сравнении с однокомпонентным раствором глицерина привело к более высоким значениям сохранности лейкоцитов (рис. 2, см. обложка с. 3), т. е. эндополисахариды

T. ochracea способны статистически значимо усилить криозащитный эффект глицерина, что подтверждается значениями показателей сохранности клеток в процентах по отношению к уровню до замораживания, принятому за 100 (табл. 2).

При замораживании клеток в среде глицерина с ЭНП *T. versicolor* сохранность гранулоцитов и устойчивость мембран клеток к озону не отличалась от показателей при замораживании в однокомпонентной среде глицерина, а показатель сохранности фагоцитирующих нейтрофилов значительно снизился. Необходимо отметить, что при добавлении к глицерину ЭНП *T. versicolor* в ряду концентраций от 0,5 до 1% повышение осмолярности смеси не происходило.

Заключение

Таким образом, полученные результаты о сохранности лейкоцитов при замораживании в среде глицерина с ЭНП *T. ochracea* подтвер-

Влияние грибных ЭНП (0,5%) на криозащитный эффект глицерина (3,5%) по показателям сохранности лейкоцитов

Серия n=10	Показатели сохранности (количество), М±σ		
	лейкоциты с мембраной, непроницаемой для эозина	гранулоциты	фагоцитирующие нейтрофилы
Лейкоциты с глицерином	73±7,1	68±9,8	45±4,3
Лейкоциты с глицерином и ЭНП <i>T. versicolor</i>	72±7,3	60±9,2	31±4,8*
Лейкоциты с глицерином и ЭНП <i>T. ochracea</i>	89±6,3*	87±5,2*	69±6,8*

Примечание: * – различие с величиной показателя «лейкоциты с глицерином» значимо ($p < 0,05$).

дили наше предположение о том, что снижение температуры замедления раствора глицерина в присутствии грибного эндополисахарида может способствовать снижению риска повреждений клеток при криоконсервации.

В свете современных исследований, посвящённых поиску новых эффективных криозащитных средств, полученные в работе данные свидетельствуют о перспективе использования эндогенных полисахаридов представителя траметоидных трутовиков *T. ochracea* при разработке новых криозащитных растворов для сохранности биологических объектов в условиях температур электрических морозильников.

Литература

1. Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель деструктурирующих грибов лесов Русской равнины. М.: Аквариус, 2016. 200 с.
2. Мухин В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Наука, 1993. 232 с.
3. Ниемеля Т. Трутовые грибы Финляндии и прилегающей территории России. Хельсинки: Norrlinna 8. 2001. 120 с.
4. Tomsovsky M., Kolarik M., Pazoutova S., Homolka L. Molecular phylogeny of European *Trametes* (Basidiomycetes, Polyporales) species based on LSU and ITS (nrDNA) sequences // *Nova Hedwigia*. 2006. V. 82. No. 3–4. P. 269–280.
5. Corner E.J.H. Ad Polyporaceas VI. The genus *Trametes* // *Beih. Nova Hedwigia*. 1990. N. 97. 206 p.
6. Бондарцева М.А., Пармасто Э.Х. Определитель грибов России. Порядок Афиллофоровые. Вып. 2. Санкт-Петербург: Наука, 1998. С. 326.
7. Рагимова М.М., Мурадов П.З. Биосинтез окислительных ферментов ксилотрофными базидиальными грибами семейства *Coriolaceae* // *Иммунопатология, аллергология, инфектология*. 2010. № 1. С. 264–265.
8. Mikiashvili N., Elisashvili V., Wasser S.P., Nevo E. Comparative Study of lectin activity of higher basidiomycetes // *Int. J. of Med. Mushr.* 2006. V. 8. No. 1. P. 31–38.
9. Yamac M., Bilgili F. Antimicrobial activities of fruit bodies and/or mycelia cultures of some mushroom isolates // *Pharm. Biol.* 2006. V. 44. No. 9. P. 660–667.
10. Morozova O.V., Shumakovich G.P., Shleev S.V., Yarovolov Ya.I. Laccase-mediator systems and their applications: A review // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2007. T. 43. No. 5. С. 523–535.
11. Королёв А.В., Куликова Н.А., Филиппова О.И., Ландесман Е.О., Кляйн О.И., Королёва О.В. Получение компоста с использованием биопрепарата на основе базидиомицета *Trametes hirsuta* // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2012. № 2. С. 31–35.
12. Чхенкели В. А., Горяева Н.А., Чхенкели Л.Г., Мартынова А.Ю., Калинович А.Е. Некоторые аспекты изучения антимикробной активности грибов-ксилотрофов рода *Trametes* // *Сибирский медицинский журнал*. 2011. № 2. С. 82–86.
13. Чхенкели В.А. Биологически активные вещества базидиомицета *Coriolus pubescens* (Schum.: Fr.) Quel. и их использование. Новосибирск: Сиб. отделение РАСХН: ИФИЭВС и ДВ, 2006. 288 с.
14. Иванова Т.С., Бисько Н.А., Мегалинская А.П. Антибактериальная и гемагглютинирующая активность *Schizophyllum commune* и *Trametes versicolor* // *Успехи медицинской микологии*. 2014. Т. 13. С. 304–305.
15. Садыкова В.С., Ковалева К.Г., Чижмотря Н., Гаврилова А.Г., Громовых Т.И., Новицкий И.А. Антимикробная активность грибов рода *Trichoderma* и *Trametes* в отношении условно-патогенных микроорганизмов рода *Staphylococcus* // *Сибирский медицинский журнал*. 2016. № 8. С. 18–20.
16. Теплякова Т.В., Косогова Т.А. Высшие грибы Западной Сибири – перспективные объекты для биотехнологии лекарственных препаратов. Новосибирск: Вектор, 2014. 298 с.
17. Антоненко Л.А., Клечак И.Р. Биохимический состав мицелия базидиального гриба *Trametes versicolor* // *Успехи медицинской микологии*. 2014. Т. 12. С. 215–216.
18. Cui J., Chisti Yu. Polysaccharopeptides of *Coriolus versicolor*: physiological activity, uses, and production // *Biotechnol Adv.* 2003. V. 21. P. 109–122.

19. Бабицкая В.Г., Щерба В.В., Гвоздикова Т.С. Новые биологически активные добавки на основе глубокого мицелия базидиальных грибов // Успехи медицинской микологии. 2006. Т. 7. С. 178–180.

20. Белоус А.М., Грищенко В.И. Криобиология. Киев: Наукова Думка, 1994. 432 с.

21. Solomina O.N., Svedentsov E.P., Zaitseva O.O., Polezhaeva T.V., Ovodova R.G., Golovchenko V.V., Laptev D.S., Khudyakov A.N., Stepanova E.S., Ovodov Y.S. Cryoprotective properties of some pectins // Doklady Biological Sciences. 2010. V. 430. No. 1. С. 20–22.

22. Polezhaeva T.V., Zaitseva O.O., Khudyakov A.N., Laptev D.S., Golovchenko V.V., Gordiyenko E.A., Kuleshova L.G. Use of pectin polysaccharides for cryopreservation of biological objects // Arch. Biol. Sci. 2014. V. 66. No. 3. P. 1025–1033.

23. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с.

References

1. Storozhenko V.G., Krutov V.I., Ruokolaynen A.V., Kotkova V.M., Bondartseva M.A. Atlas-determinant of wood-destroying fungi of the forests of the Russian Plain. Moskva: Akvarius, 2016. 200 p. (in Russian).

2. Mukhin V.A. Biota of xylotrophic basidiomycetes of the West Siberian Plain. Ekaterinburg: Nauka, 1993. 232 p. (in Russian).

3. Niyemelya T. Trout fungi of Finland and the adjoining territory of Russia. Khelsinki: Norrlinna 8. 2001. 120 p. (in Russian)

4. Tomsovsky M., Kolarik M., Pazoutova S., Homolka L. Molecular phylogeny of European *Trametes* (Basidiomycetes, Polyporales) species based on LSU and ITS (nrDNA) sequences // Nova Hedwigia. 2006. V. 82. No. 3–4. P. 269–280.

5. Corner E.J.H. Ad Polyporaceas VI. The genus *Trametes* // Beih. Nova Hedwigia. 1990. H. 97. 206 p.

6. Bondartseva M.A., Parmasto E.Kh. The determinant of mushrooms of Russia. Order Afillophorovy. V. 2. Sankt-Peterburg: Nauka, 1998. P. 326 (in Russian).

7. Ragimova M.M., Muradov P.Z. Biosynthesis of oxidative enzymes with xylotrophic basidiomycetes of the family *Coriolaceae* // Immunopatologiya, Allergologiya, Infektologiya. 2010. No. 1. P. 264–265 (in Russian).

8. Mikiashvili N., Elisashvili V., Wasser S.P., Nevo E. Comparative Study of lectin activity of higher basidiomycetes // Int. J. of Med. Mushr. 2006. V. 8. No. 1. P. 31–38.

9. Yamac M., Bilgili F. Antimicrobial activities of fruit bodies and/or mycelia cultures of some mushroom isolates // Pharm. Biol. 2006. V. 44. No. 9. P. 660–667.

10. Morozova O.V., Shumakovich G.P., Shleev S.V., Yaropolov Ya.I. Laccase-mediator systems and their applications: A review // Applied Biochemistry and Microbiology. 2007. V. 43. No. 5. P. 523–535.

11. Korolev A.V., Kulikova N.A., Filippova O.I., Landesman E.O., Klyayn O.I., Koroleva O.V. Compost production using biomedical based on basidiomycete *Trametes hirsute* // Problemy agrokhimii i ekologii. 2012. No. 2. P. 31–35 (in Russian).

12. Chkhenkeli V.A., Goryayeva N.A., Chkhenkeli L.G., Martynova A.Yu., Kalinovich A.E. Some aspects of studying antimicrobial activity of fungi-xylotrophs of the genus *Trametes* // Sibirskiy meditsinskiy zhurnal. 2011. No. 2. P. 82–86 (in Russian).

13. Chkhenkeli V.A. Biologically active substances of Basidiomycetes *Coriolus pubescens* (Schum.: Fr.) Quel. and their use. Novosibirsk: Sibirskoye Otdeleniye RASKhN: IFIEVS I DV, 2006. 288 p. (in Russian).

14. Ivanova T.S., Bisko N.A., Megalinskaya A.P. Antibacterial and haemagglutinating activity of *Schizophyllum commune* and *Trametes versicolor* // Uspekhi meditsinskoj mikologii. 2014. V. 13. P. 304–305 (in Russian).

15. Sadykova V.S., Kovaleva K.G., Chizhmotrya N., Gavrilo A.G., Gromovykh T.I., Novitskiy I.A. Antimicrobial activity of fungi of the genus *Trichoderma* and *Trametes* in relation to conditionally pathogenic microorganisms of the genus *Staphylococcus* // Sibirskiy meditsinskiy zhurnal. 2016. No. 8. P. 18–20 (in Russian).

16. Teplyakova T.V., Kosogova T.A. Higher mushrooms of Western Siberia are promising targets for biotechnology of medicines. Novosibirsk: Vektor, 2014. 298 p. (in Russian).

17. Antonenko L.A., Klechak I.R. Biochemical composition of the mycelium of the basidiomycete *Trametes versicolor* // Uspekhi meditsinskoj mikologii. 2014. V. 12. P. 215–216 (in Russian).

18. Cui J., Chisti Yu. Polysaccharopeptides of *Coriolus versicolor*: physiological activity, uses, and production // Biotechnol Adv. 2003. V. 21. P. 109–122.

19. Babitskaya V.G., Shcherba V.V., Gvozdikova T.S. New biologically active additives based on deep mycelium of basidiomycetes // Uspekhi meditsinskoj mikologii. 2006. V. 7. P. 178–180 (in Russian).

20. Belous A.M., Grishchenko V.I. Cryobiology. Kiyev: Naukova dumka, 1994. 432 p. (in Russian).

21. Solomina O.N., Svedentsov E.P., Zaitseva O.O., Polezhaeva T.V., Ovodova R.G., Golovchenko V.V., Laptev D.S., Khudyakov A.N., Stepanova E.S., Ovodov Y.S. Cryoprotective properties of some pectins // Doklady Biological Sciences. 2010. V. 430. No. 1. P. 20–22.

22. Polezhaeva T.V., Zaitseva O.O., Khudyakov A.N., Laptev D.S., Golovchenko V.V., Gordiyenko E.A., Kuleshova L.G. Use of pectin polysaccharides for cryopreservation of biological objects // Arch. Biol. Sci. 2014. V. 66. No. 3. P. 1025–1033.

23. Glants S. Medico-biological statistics. Moskva: Praktika, 1998. 459 p. (in Russian).

К вопросу о реализации экологического контроля и надзора в Российской Федерации: вопросы теории и практики

© 2017. Д. Г. Домрачев, к. ю. н., доцент, зав. кафедрой,
А. А. Кирилловых, к. ю. н., доцент,
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
e-mail: zentr-pravo@mail.ru, kirillovykh2014@yandex.ru

Представлен анализ современных проблем реализации экологического контроля и надзора в Российской Федерации, а также предложения мер по совершенствованию механизма регламентации контрольно-надзорных мероприятий на современном этапе.

Методологическую основу исследования составили аналитический метод, позволяющий рассмотреть практику регламентации вопросов экологического контроля и надзора, формально-юридический метод, позволяющий раскрыть системные связи в правовом регулировании, регулятивные особенности правовых актов, правоприменительную практику.

Показано соотношение понятий «контроль» и «надзор», предложено их разграничение в сфере охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в рамках деятельности уполномоченных органов публичного управления. Проведён анализ Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. на предмет совершенствования законодательства в сфере экологического контроля и надзора. Изучен опыт адаптации риск-ориентированного подхода в практике контрольно-надзорной деятельности, выявлены практические проблемы в механизме её реализации.

Ключевые слова: контроль, надзор, экология, право, государство, муниципалитет, безопасность.

On implementation of environmental monitoring and surveillance in the Russian Federation: issues of theory and practice

D. G. Domrachev, A. A. Kirillovykh,
Vyatka State University,
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: zentr-pravo@mail.ru, kirillovykh2014@yandex.ru

The analysis of contemporary problems of realization of ecological monitoring and surveillance in the Russian Federation at the present stage is presented; the measures of improving the regulatory activities are suggested.

The authors aim to study the problems of regulation in the legislation of State environmental monitoring and surveillance, as well as to suggest measures of improving the regulation of regulatory activities.

The relationship of the notions "control" and "surveillance" are shown, it is suggested that the distinction between them lies in the field of environmental protection and environmental safety, within the framework of activities of authorized public administration authorities.

The analysis of the Strategy of ecological safety of the Russian Federation for the period until 2025 goals for improvement of legislation in the sphere of environmental monitoring and surveillance.

Development of the Strategy is aimed to establish a system of environmental auditing. Currently, environmental auditing in the investment process is used only for attracting foreign investment. The Russian experience in this area is virtually non-existent. This requires developing and adoption of the Federal law "On environmental audits". The law should provide a definition of the main categories, indicate the status of auditing subjects, forms of its realization.

The experience of adaptation of the risk-oriented approach in the practice of the control and oversight activities for objects that have a negative impact on the environment is studied. Practical issues of its implementation are identified. Accounting objects by their owners is declarative in nature. However, in the form of a declaration there are no clear criteria for the identification of required objects. This leads to presenting inaccurate information and further it complicates State control procedures. In addition, if one business entity has multiple objects, the objects of the same owner are the subjects of both federal and regional regulatory authorities. This situation increases the administrative load on business, non-productive costs, leads to duplication of functions of oversight bodies, increases the budget expenses for the implementation of these functions.

Keywords: monitoring, oversight, ecology, law, State, municipality, security.

Рыночная экономика определяет в качестве целей государственного экологического контроля обеспечение рационального природопользования, с учётом обеспечения охраны окружающей среды от вредных воздействий, а также экологической безопасности. Концепция экологической безопасности в Европейском регионе уже давно обсуждается в научной среде как неотъемлемый элемент общегосударственной безопасности [1–3]. Правовое обеспечение единой государственной экологической политики РФ требует стабильности законодательства и усиления контроля и надзора за его исполнением [4].

Зарубежное административное право рассматривает контрольно-надзорную деятельность уполномоченных органов публичной власти как часть административно-государственного управления [5].

Государственный надзор в области охраны окружающей среды является одной из важнейших функций экологического управления, способной содействовать сохранению природы для настоящего и будущих поколений [6].

Эффективность природоохранной деятельности в экономически развитых государствах обусловлена функционированием государственных органов, имеющих и исполнительно-распорядительный, и консультативный, совещательный характер [7].

Контроль (надзор) специализированных органов экологического надзора касается определённых областей производственной, хозяйственной и иной деятельности, связанных с исполнением какого-либо конкретного законодательства.

При анализе норм смежных отраслей законодательства (водного, законодательства о недрах и др.) видно, что государственный надзор, например, в области использования и охраны водных объектов, государственный надзор за геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр, государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха, осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Анализ практики контрольной деятельности позволил выделить публичный и частный экологический контроль. В первом случае речь идет о государственном и муниципальном контроле, а во втором – о производственном [8].

В литературе выделяются следующие основные формы государственного экологического контроля: государственный учёт,

наблюдение, обследование, проверка, инспектирование, ревизия, надзор, аудит. Каждая из перечисленных форм контроля имеет свои особенности, отчётливо проявляющиеся при проведении различных контрольных мероприятий [9].

Несмотря на то, что справочные издания практически отождествляют понятия «контроль» и «надзор», понимая под ними наблюдение за кем-нибудь с целью проверки [10], современные теоретические модели контроля и надзора в рамках науки административного права имеют существенные отличия.

Надзор традиционно рассматривается как постоянное и систематическое наблюдение специализированных уполномоченных органов за деятельностью не подчинённых им органов и лиц в целях выявления фактов (случаев) нарушения законности. В этом смысле, надзор сводится к способу мониторинга обеспечения законности.

Учитывая «внешний» характер полномочий по отношению к проверяемым объектам надзорных органов, последние не имеют право вмешиваться в их оперативно-хозяйственную и административную деятельность. Поэтому оценка деятельности поднадзорного объекта сводится лишь к проверке соответствия её закону, а не целесообразности осуществления.

В свою очередь, в рамках отношений подведомственности органы публичной власти, выполняющие функции собственника-учредителя организации, правомочны в отношении объектов, находящихся в их подчинении, принимать решения по корректировке их управленческих решений, связанных с реализацией возложенных функций и задач таких объектов управления. Однако, в отличие от надзора, их контрольная деятельность носит непостоянный, эпизодический характер. В связи с этим, данные категории не следует отождествлять.

В то же время, действующее законодательство об охране окружающей среды предлагает немало примеров, когда законодатель не делает различия, а иногда, по сути, ставит знак равенства между контролем и надзором как видами административной деятельности по выполнению государственных функций в сфере экологического регулирования.

Как ни странно, подобная путаница выражается в отличных от предлагаемых административной наукой оснований для разграничения этих понятий. В качестве критерия при разграничении понятий экологического контроля и экологического надзора берёт-

ся их субъектный состав. Так, термин «надзор» используется в отношении экологического контроля, проводимого органами государственной власти, тогда как производственное и общественное вмешательство в деятельность объекта определяется понятием «контроль».

Сложность проблемы разграничения связана с тем, что законодательство (в частности, ст. 65 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»), регулируя деятельность надзорных органов, обозначает её государственным экологическим надзором.

Как следует из Правил осуществления государственного экологического надзора (утв. Постановлением Правительства РФ от 08.05.2014 г. № 426), государственный экологический надзор направлен на предупреждение, выявление и пресечение нарушений юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами требований в области охраны окружающей среды.

По мнению учёных [11], государственный экологический надзор представляет собой законодательно урегулированный механизм, права и обязанности участников надзорного процесса нормативно определены, установлены гарантии прав и способы защиты «слабой» (поднадзорной) стороны в подобных отношениях, закреплены процедурные требования и последствия их несоблюдения при осуществлении надзорной деятельности.

В Постановлении Правительства РФ от 30.07.2004 г. № 400 «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования и внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2004 г. № 370» сказано, что Росприроднадзор является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере природопользования, а также в пределах своей компетенции в области охраны окружающей среды.

На практике формы осуществления, например, видов земельного контроля в некотором роде отличаются. Во всех случаях используют форму проверки, однако предмет её существенно различается. Если публичный государственный надзор и муниципальный контроль представляют собой проверку соблюдения требований законодательства, за нарушение которых предусмотрена административная и иная ответственность, то общественный контроль – проверку издаваемых органами государственной власти, органами местного са-

моуправления актов и принимаемых решений, затрагивающих земельные права и законные интересы граждан, юридических лиц [12].

Анализ ч. 3 ст. 65 Федерального закона «Об охране окружающей среды», раскрывающей понятие государственного экологического надзора, показывает, что в содержание анализируемого понятия не включается контроль в области использования и охраны природных ресурсов. В свою очередь, содержанием данного понятия охватывается государственный надзор в области охраны и использования природных ресурсов.

Учёными [13] разграничиваются понятия «экологический контроль» и «контроль в области использования и охраны природных ресурсов», поскольку сфера природопользования составляет самостоятельный объект контрольно-надзорной деятельности комплексного характера в мероприятиях по охране окружающей среды.

Механизм экологического контроля (надзора): разграничение компетенции контрольно-надзорных органов. Надзорная деятельность входит в предмет компетенции специализированных правоохранительных органов, в частности, представленных единой централизованной системой органов прокуратуры.

Следует отметить особое место прокуратуры в системе государственных органов, широкий охват сфер надзора за исполнением законов и охраны прав граждан, в том числе, на благоприятную окружающую среду. Такая особая роль предопределяется её особым статусом и независимостью от каких-бы то ни было иных органов государственной власти, единством, централизмом её системы, наличием широкого арсенала средств прокурорского реагирования, обеспечивающих соблюдение законности в государстве.

Надзор за исполнением законов является основной функцией прокуратуры, а для органов контроля эта функция не является основной. Прокуратура осуществляет проверку исполнения только законов, а органы государственного контроля (надзора) – исполнение законов и подзаконных актов [14].

Органы прокуратуры, осуществляя общий надзор за исполнением законов в государстве, нередко вмешиваются в компетенцию специализированных уполномоченных органов в сфере экологического контроля (надзора), что подрывает принципы деятельности самих органов прокуратуры. Такие действия со стороны органов прокуратуры ведут к дубли-

рованию функций, и одновременно снижают эффективность деятельности самой прокуратуры.

Когда прокурор получает информацию об имеющемся факте совершенного экологического правонарушения, ему целесообразно прояснить вопрос о наличии аналогичной информации у органов экологического надзора и их дальнейших действиях. В том случае, если эти органы приняли соответствующие меры либо проводят проверку, прокурор должен потребовать предоставления ему информации о результатах предпринятых действий, а проведение проверки взять под свой контроль [15].

При поступлении соответствующей информации исключительно в органы прокуратуры, прокурор определяет орган, который полномочен проверить поступившую информацию и, при необходимости, поручить проведение проверки контролирующим органам.

Проблему в разграничении содержания деятельности уполномоченных органов создаёт и сама система федеральных органов исполнительной власти, в которой представлены федеральные надзоры, т. е. органы, в чью компетенцию входят контрольно-надзорные полномочия в рамках установленной сферы деятельности.

Методологически целесообразно разграничить понятия контроля и надзора, что позволит размежевать компетенцию соответствующих органов, и избежать случаев подмены прокуратурой органов государственного экологического надзора (контроля). В связи с этим, понятие «надзор» необходимо связывать с деятельностью органов прокуратуры (что является непосредственной их функцией), а понятие «контроль» – закрепить за органами государственного контроля.

Экологический контроль (надзор): федеральный и региональный уровень. В рамках противоречивой политики централизации/децентрализации полномочий органов государственной власти статус и содержание видов экологического контроля постоянно менялись, в силу чего их содержание, правовое регулирование и организация имели существенные недостатки [16].

В настоящее время реализуется государственный экологический надзор, с сохранением его федерального и регионального уровня осуществления как вида контрольной деятельности. Сообразно такому разграничению, определяемому формой государственного устройства, различаются федеральный

и региональный государственный экологический надзор.

Практика организации государственного экологического надзора в субъектах РФ свидетельствует об отсутствии (за редким исключением) в структуре исполнительной власти региона специализированных уполномоченных контрольных органов для реализации переданных полномочий Российской Федерации.

В основном региональный государственный экологический надзор осуществляется государственными органами исполнительной власти в области природных ресурсов и экологии (их структурными подразделениями и/или должностными лицами) [16].

Для решения данной проблемы на региональном уровне предлагалось, в частности, наделить органы исполнительной власти субъектов РФ полномочиями по осуществлению регионального государственного земельного надзора в отношении земель, находящихся в собственности субъекта РФ, а также земельных участков, на которых расположены объекты хозяйственной деятельности, поднадзорные субъектам РФ в рамках государственного экологического надзора [12]. Однако такие предложения, за редким исключением, не получили практическую реализацию.

Отдельной проблемой в реализации контрольно-надзорных полномочий является отсутствие в субъектах необходимых регулятивных нормативных актов, непосредственно регламентирующих процесс проведения контрольно-надзорных мероприятий.

Ряд субъектов утвердили собственные региональные административные регламенты, касающиеся организации и осуществления регионального государственного экологического надзора на своей территории либо в целом (например, Республика Башкортостан), либо в части организации и осуществления отдельных его видов (например, Ленинградская область) [16].

Акты регламентного характера являются наиболее эффективным средством регулирования деятельности уполномоченных органов государственной власти и местного самоуправления в рамках реализации возложенных на них публичных функций и задач, и зарекомендовали себя на практике. Представляется логичным разработка и принятие административного регламента, обеспечивающего координацию уполномоченных органов в сфере контрольно-надзорной деятельности, в том числе соглашение о проведении плановых и внеплановых проверок и других вопросов.

Стратегическое планирование в сфере экологической безопасности: правовой аспект. Отправной точкой для создания документов стратегического характера является Федеральный закон от 28.06.2014 г. № 172-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г.) «О стратегическом планировании в Российской Федерации», определивший правовые основы стратегического планирования в РФ, координации государственного и муниципального стратегического управления и бюджетной политики.

Очевидно, что долгосрочным ориентиром, вокруг которого выстраивается деятельность всего государственного механизма в нашей стране – это обеспечение национальной безопасности. Подтверждением этому служит подписанный 31 декабря 2015 г. Президентом РФ В.В. Путиным Указ № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

Стратегия в качестве основных угроз государственной и общественной безопасности в сфере экологии называет стихийные бедствия, аварии и катастрофы, в том числе связанные с глобальным изменением климата, ухудшением технического состояния объектов инфраструктуры и возникновением пожаров (п. 43). В свою очередь, экологическая безопасность определяется как состояние защищённости человека, общества и государства от экологических угроз, а обеспечение экологической безопасности – деятельность по предотвращению экологических угроз [17].

В рамках определения перспектив долгосрочного планирования развития экологической ситуации в стране Указом Президента РФ от 19.04.2017 г. № 176 утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Стратегия – документ стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, определяющий основные вызовы и угрозы экологической безопасности, цели, задачи и механизмы реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности.

В качестве основных угроз экологической безопасности, на основе оценки её текущего состояния, Стратегия называет неблагоприятное качество воды в водных объектах, практически во всех регионах страны сохраняется тенденция к ухудшению состояния земель и почв, значительно растёт объём отходов производства и потребления. Из Стратегии следует (п. 26), что решение основных задач в области обеспечения экологической безопасно-

сти должно осуществляться по приоритетным направлениям, к которым также относится совершенствование законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования, а также институциональной системы обеспечения экологической безопасности (пп. «а» п. 26).

Таким образом, можно констатировать, что в рамках регулирования совершенствования государственной контрольно-надзорной деятельности в сфере экологии Стратегия ведёт речь о необходимости дальнейшего повышения её эффективности, не предлагая конкретных параметров оценки и инструментов реализации конкретных контрольно-надзорных мероприятий.

В этой связи, в литературе можно встретить «революционные» предложения об органах, которые могли бы на практике обеспечить достижение целей экологической безопасности государства. В частности, таким органом, одновременно способствующим повышению уровня экологического образования и экологической культуры граждан, могла бы стать экологическая полиция [18]. Данное предложение, конечно, нельзя назвать однозначно необдуманным и поспешным, но, в то же время, требующим более глубокого анализа функций этой структуры и её места в системе органов исполнительной власти. Нелишним, также было бы задуматься о том, что увеличение государственного аппарата не соответствует целям и направлениям действующей бюджетной политики и текущей экономической ситуации в стране, нацеленной на оптимизацию государственных расходов. Представляется более разумным использование резервов существующей системы контрольно-надзорных органов, обеспечивающих повышение эффективности их практической деятельности.

Разработчики Стратегии поставили цель создать систему экологического аудита. В настоящее время экологический аудит используется в основном в инвестиционном процессе и только при привлечении иностранных инвестиций. При этом данный вид экологического аудита, как правило, проводится иностранными аудиторскими компаниями [19]. Российский опыт в этой сфере практически отсутствует.

Учитывая сложность и важность рассматриваемых вопросов, было бы целесообразно разработать и принять Федеральный закон «Об экологическом аудите», в котором, в первую очередь, следовало бы дать определение «базовым» категориям, обозначить статус субъектов

аудиторской деятельности, формы её реализации, а также механизм взаимодействия с органами государственного экологического контроля и надзора, а также решить ряд иных принципиальных вопросов.

Проблемы реализации риск-ориентированного подхода и разграничения полномочий в сфере надзора за объектами, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду. В России с 2015 г. на законодательном уровне проведена реформа контрольно-надзорных полномочий в сфере экологического контроля Федеральным законом от 13.07.2015 г. № 246-ФЗ изменений в Федеральный закон от 26.12.2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля», и введением ст. 8.1, предусматривающей с 1 января 2017 г. адаптацию на практике риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля и надзора. В качестве задач системы управления рисками выделяется минимизация вмешательства в деятельность организаций, характеризующихся низким уровнем риска и устойчивым добросовестным поведением, а также оптимальное использование материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов органов государственной власти и органов местного самоуправления при проведении контроля (надзора).

Подобный подход в контрольно-надзорной деятельности предполагается применять в оценке степени влияния объектов негативно-го воздействия на окружающую среду. Так, в частности, в Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г.) «Об охране окружающей среды» законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ введена ст. 4.2, которая предусматривает разделение всех предприятий (организаций) на 4 группы (категории), в зависимости от объёма негативного воздействия при осуществлении производственной деятельности. Такой подход направлен на практическую дифференциацию методов работы надзорных органов с предпринимателями, и главное – определение степени реальной угрозы деятельности предприятия на окружающую среду. Впоследствии это также должно способствовать установлению уровня (степени) ответственности конкретного предприятия в случае обнаружения нарушений норм экологического законодательства. Как показывает практика, степень вины предпринимателя, даже при формальном составе

правонарушения в сфере экологии, как и уровень общественной опасности допущенного нарушения, не учитывается органами, привлекающими лицо к административной ответственности. Предусмотренная законом санкция за совершённое правонарушение не позволяет правоприменителю при назначении наказания дифференцировано подходить к решению этого вопроса в связи с отсутствием в законодательстве критериев для определения меры ответственности виновного лица. Представляется, что как раз учёт этих критериев позволил бы обеспечить реализацию мер применения соразмерной ответственности к нарушителю и, тем самым, реализовать цели административной ответственности.

Реализованные новации коснулись вопросов разграничения полномочий федеральных и региональных контрольно-надзорных органов в области экологии и охраны окружающей среды.

Как следует из п. 4 ст. 65 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 03.07.2016 г.) «Об охране окружающей среды», государственный экологический надзор осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти (федеральный государственный экологический надзор) и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации (региональный государственный экологический надзор) (органы государственного надзора) согласно их компетенции.

Разграничение компетенции в этой сфере является наиболее острым вопросом, поскольку ответ на него не всегда можно получить из анализа действующего законодательства. Однако, иногда такие вопросы все же получают свое решение в законодательстве на уровне совместных нормативных актов контрольно-надзорных органов. Например, Закон РФ от 21.02.1992 г. № 2395-1 (ред. от 03.07.2016 г.) «О недрах» в ст. 2.3 закрепляет перечень участков недр местного значения. Конкретные участки недр применительно к соответствующей территории определяются на уровне правоприменительных совместных актов федеральных и региональных органов исполнительной власти. Так, в частности, распоряжением МПР РФ № 49-р Правительства Кировской области № 212 от 12.07.2005 г. «Об утверждении перечня общераспространённых полезных ископаемых Кировской области» определены недра местного значения, т. е. расположенные в пределах границ территории Кировской области. Данный акт не только

закрепляет перечень полезных ископаемых региона, но и определяет сферу компетенции региональных органов исполнительной власти субъекта РФ в сфере надзора в рамках законодательства о недрах и недропользовании.

Право пользования соответствующими участками недр представляется органом государственной власти субъекта Российской Федерации, которым в Кировской области является министерство охраны окружающей среды Кировской области.

Министерство, как лицензирующий орган, вправе осуществлять лицензионный контроль в отношении лицензиатов, соискателей лицензии на предмет соответствия их деятельности лицензионным требованиям.

По общему правилу, порядок организации и осуществления лицензионного контроля определён ст. 19 Федерального закона РФ от 04.05.2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности». Между тем, в силу ч. 8 ст. 22 указанного закона его положения не применяются к установленному иными федеральными законами лицензированию в отношении отдельных хозяйственных сделок, действий либо операций, в том числе и по вопросам лицензирования разведки и добычи полезных ископаемых на участках недр. Законом РФ «О недрах» порядок организации и осуществления лицензионного контроля не определён.

Таким образом, в силу пробела в действующем законодательстве министерство лишено возможности осуществлять лицензионный контроль, на практике заменяя его государственным экологическим надзором на обычных основаниях, что существенно снижает эффективность надзорной деятельности на данном направлении.

В связи с изложенным, необходимо внести изменения в закон РФ от 21.02.1992 г. № 2395-1 «О недрах», дополнив его положениями, регламентирующими процедуру осуществления лицензионного контроля.

Следующим аспектом рассматриваемых проблем следует отметить изменения в процедуре учёта объектов. С недавнего времени объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду подлежат обязательному государственному учёту. Государственный учёт объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, осуществляется в форме ведения государственного реестра таких объектов.

Постановлением Правительства РФ от 23.06.2016 г. № 572 утверждены Правила соз-

дания и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ в законодательство об охране окружающей среды внесены изменения, которые предусмотрели в рамках требований введённой в Закон ст. 69.2 обязанность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей поставить на государственный учёт объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, а также осуществлять актуализацию учётных сведений о таких объектах.

Учёт объектов негативного воздействия по новым методикам предусматривает декларирование объектов их владельцами и носит заявительный характер. Практическая сложность в процедуре учёта состоит в отсутствии чётко сформулированных в форме заявления критериев определения того или иного объекта, что на практике приводит к предоставлению недостоверных сведений и значительно усложняет в дальнейшем процедуры государственного контроля.

Количество предприятий, имеющих на балансе объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), неуклонно растёт. Проблема также заключается в правильном учёте этих объектов, поскольку на практике приходится сталкиваться с трудностями в установлении количественного состава того или иного объекта.

Главенствующий признак объекта НВОС – наличие стационарного источника загрязнения окружающей среды. При этом, следует учитывать, что объект может включать несколько источников негативного воздействия и должен удовлетворять требованию территориальной связанности. В то же время отмечается, что, если деятельность осуществляется на двух и более производственных территориях, удалённых друг от друга на значительное расстояние и не связанных трубопроводами, железными дорогами или иначе (технически), необходимо ставить на государственный учёт два и более производственных объекта [20].

Попутно необходимо обратить внимание и на проблемы поднадзорности объектов НВОС, которые во многом объясняются противоречиями в действующем законодательстве. В настоящий момент, при определении уровня поднадзорности объектов (федеральный, региональный надзор), следует руководствоваться перечнем объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору.

Перечень объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору, например, на территории Кировской области, утверждён приказом Минприроды России от 24.08.2011 г. № 697, который до настоящего времени не отменён и не изменён, является действующим. Вместе с тем, он уже не соответствует действительности: предприятия, включённые в него, не всегда соответствуют критериям, утверждённым постановлением Правительства РФ от 28.08.2015 г. № 903. Так, согласно п. 8 Перечня к объектам федерального надзора относится ООО «Сорвижи-лес», тогда как данная организация в соответствии с критериями, утверждёнными указанным постановлением, встала на учёт объектов НВОС в качестве объекта регионального экологического надзора. Таких ситуаций достаточно много.

Таким образом, при окончательном формировании соответствующего реестра контрольно-надзорным органам придётся провести значительную инвентаризационную работу, которую они могут сделать только в рамках мероприятий по проверке соблюдения хозяйствующими субъектами действующего экологического законодательства. Данные мероприятия могут иметь только плановый характер, поэтому установление фактической численности объектов негативного воздействия может растянуться на весьма длительный период времени (несколько лет).

Следует также учесть, что изменениями, внесёнными в законодательство об охране окружающей среды, с 2015 г. было предусмотрено создание и внедрение Государственной информационной системы (ГИС) учёта объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Однако, технически эта система стала функционировать только в декабре 2016 г.

Предприниматели – владельцы объектов, в соответствии с установленными правилами обязаны были обратиться в уполномоченные органы с заявлениями о постановке объекта на учёт в период с 2015 до 2017 г., а фактически получили такую возможность лишь в период с 1 по 31 декабря 2016 г., поскольку с января 2017 г. сведения по всем объектам должны содержаться в ГИС.

Учитывая масштабность работы и сжатый период для подачи заявлений, далеко не все предприниматели смогли уложиться в отведённые им для этого сроки. Подобные факты являются нарушением законодательства, ответственность за которое предусмотрена

введённой в действие с 01.01.2015 г. ст. 8.46 КоАП РФ. Исходя из невыполнения этого формального требования, у уполномоченных контрольно-надзорных органов имелись все основания привлекать юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к административной ответственности.

Таким образом, можно констатировать, что законодатель в очередной раз совершил недостаточно обдуманый шаг, поставив под угрозу права и законные интересы предпринимателей.

Следующий негативный аспект реформы разграничения полномочий касается механизма деятельности контрольно-надзорных органов в рамках системы учёта и определения поднадзорных объектов. Данная ситуация во многом является следствием определения понятия «объекта негативного воздействия», понимается не юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, а конкретный источник возникновения такой опасности.

Суть проблемы состоит в том, что ранее действовало правило, согласно которому, если хотя бы один объект негативного воздействия по сфере своей поднадзорности попадает в сферу компетенции федерального контролирующего органа, то и все остальные объекты, которые ранее формально должны были проверяться региональными органами, включались в перечень объектов, подлежащих контролю и проверкам со стороны соответствующего уполномоченного федерального органа. Сейчас, в связи с внесением изменений в ч. 3 ст. 65 Закона «Об охране окружающей среды», с января 2016 г. ситуация изменилась в сторону разграничения полномочий федеральных и региональных контрольно-надзорных органов. На практике новации заключаются в том, что если у одного хозяйствующего субъекта имеются несколько объектов, которые по установленным критериям входят в компетенцию и федерального и регионального надзора, то проверка объектов одного и того же владельца осуществляется как федеральными, так и региональными контролирующими органами.

Такой вывод о новом соотношении разграничения компетенции между федеральным и региональным уровнем надзора делается в результате системного толкования ч. 3 ст. 65, ст. 69 и 69.2 Федерального закона «Об охране окружающей среды», а также Постановления Правительства РФ от 28.08.2015 г. № 903, исключающего возможность разумного распределения обязанностей между контрольно-надзорными органами, что при-

ведёт к увеличению количества надзорных мероприятий и, как следствие, административному давлению на бизнес.

Здесь проблема видится также в том, что федеральный и региональный уровень экологического контроля и надзора, в части используемых методик и подходов к контрольно-надзорной деятельности, имеет существенные различия. Поэтому, требования, которые предъявляют к предпринимателям в части содержания объектов, и критерии, по которым осуществляется их проверка на соответствие их нормам действующего законодательства, а также их количество, у проверяющих органов часто не совпадают, и иногда имеют серьёзные различия.

Подобная ситуация негативно сказывается на владельцах объектов негативного воздействия, поскольку требует от них своевременно реагировать на новые требования уполномоченного органа. Кроме того, выполнение таких требований нередко сопровождается весьма серьёзными финансовыми затратами, которые ложатся на плечи предпринимателей.

Таким образом, предложенные законодателем меры, при их грамотной и эффективной реализации могли бы способствовать снижению административной нагрузки на бизнес, уменьшению непроизводительных затрат и, в то же время, исключению дублирования функций контрольно-надзорных и разрешительных органов, устранению параллелизма в их деятельности, и сокращению ненужных, излишних расходов бюджетных средств, связанных с реализацией их полномочий. Однако практическая реализация таких новаций наружила обратный эффект, сдерживающий поступательное развитие отношений власти и бизнеса, сводящийся к увеличению административного давления на предпринимателей, и не способствующий решению проблем в сфере защиты экологии и охраны окружающей среды.

Литература

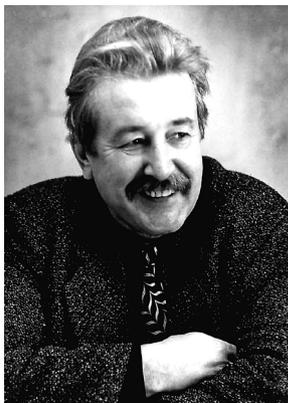
1. Hulme K. Environmental security: implications for international law // *Yearbook of International Environmental Law*. 2009. V. 19. No. 1. P. 3–26.
2. Wouters P., Vinogradov S., Magsig B.O. Water security, hydrosolidarity and international Law: A river runs through It // *Ibid*. 2009. P. 97–134.
3. Scholtz W. Collective (environmental) security: the yeast for the refinement of international law // *Ibid*. 2009. P. 135–162.
4. Волков А.М. Публичное администрирование: вопросы надзора и контроля // *Административное и муниципальное право*. 2015. № 7. С. 738–743.

5. Guillaume B., Deschodt J.-P., Verpeaux M. *Dictionnaire de la politique et de l'administration*. Paris: PUF, 2011. 312 p.
6. Зиновьева О.А. Экологический контроль и надзор: проблемы соотношения в теории и законодательстве // *Lex russica*. 2013. № 6. С. 616–620.
7. Бучакова М.А. Координация в системе государственного и муниципального управления охраной окружающей среды Российской Федерации. Автореф. ... дисс. докт. юрид. наук. М., 2011. 38 с.
8. Кичигин Н.В. Правовые проблемы муниципального экологического контроля: Автореф. дис. ... канд. юрид. наук, М., 2004. 25 с.
9. Чхутиашвили Л.В. Совершенствование государственного экологического контроля (надзора) // *Lex russica*. 2016. № 9. С. 155–162.
10. Ожегов С.И. *Словарь русского языка*. М.: Советская энциклопедия, 1982. 816 с.
11. Солдатенков О.О. Государственный экологический надзор: некоторые вопросы теории и практики // *Юридический мир*. 2014. № 8. С. 43–47.
12. Бутылина Е.В. Земельный надзор и контроль. Автореф. ... дисс. канд. юрид. наук, М., 2016. 27 с.
13. Кичигин Н.В. К вопросу о понятии экологического контроля // *Правовые проблемы государственного, муниципального и иных видов экологического контроля в России: Материалы Круглого стола*. М., 2008. С. 29.
14. Бывальцева С.Г., Белых Л.А. Разграничение компетенции органов экологического надзора и прокуратуры в сфере охраны окружающей среды // *Бизнес, Менеджмент и Право*. 2013. № 1. С. 132–135.
15. Винокуров Ю.В., Сугробов А.С. Деятельность прокуратуры в сфере охраны окружающей среды. М., 1992. 40 с.
16. Гамидуллаева Л.С. Повышение эффективности государственного экологического надзора на федеральном и региональном уровне // *Ленинградский юридический журнал*. 2015. № 4. С. 163–175.
17. Русин С.Н. Какой быть стратегии экологической безопасности Российской Федерации? // *Журнал российского права*. 2014. № 7. С. 32–40.
18. Мухлынина М.М., Мухлынин Д.Н. Экологическая безопасность как фактор социально-экономического развития страны в рамках реализации положений новой Стратегии национальной безопасности Российской Федерации // *Безопасность бизнеса*. 2016. № 5. С. 21–25.
19. Егиазаров В.А., Кичигин Н.В. Экологический аудит: перспективы законодательного регулирования // *Журнал российского права*. 2011. № 4. С. 11–18.
20. Манохова С.В. Торговым организациям об образовании и накоплении отходов // *Торговля: бухгалтерский учёт и налогообложение*. 2017. № 1. С. 40–45.

References

1. Hulme K. Environmental security: implications for international law // *Yearbook of International Environmental Law*. 2009. V. 19. No. 1. P. 3–26.
2. Wouters P., Vinogradov S., Magsig B.O. Water security, hydrosolidarity and international law: A River Runs Through It. // *Ibid*. 2009. P. 97–134.

3. Scholtz W. Collective (environmental) security: the yeast for the refinement of international law // *Ibid.* 2009. P. 135–162.
4. Volkov A. Public Administration: oversight and control issues//administrative and municipal law. 2015. No. 7. P. 738–743 (in Russian).
5. Guillaume B., Deschodt J.-P., Verpeaux M. Dictionnaire de la politique et de l'administration. Paris: PUF, 2011. 312 p.
6. Zinoviev O.A. Environmental monitoring and surveillance: gender in theory and legislation // *Lex russica.* 2013. No. 6. P. 616–620 (in Russian).
7. Boutchakova M.A. Coordination within the system of state and municipal environmental protection management of the Russian Federation. Avtoref. diss. ... d-ra jurid. nauk. Moskva, 2011. 38 p. (in Russian)
8. Kichigin N.V. legal problems of municipal ecological control. Avtoref. diss. ... kand. jurid. nauk. Moskva, 2004. 25 p. (in Russian)
9. Chhutiashvili L.Y. Improving public environmental control (supervision) // *Lex russica.* 2016. No. 9. P. 155–162 (in Russian).
10. Ozhegov S.I. Dictionary of the Russian language. Moskva: Sovetskaya entsiklopediya, 1982. 816 p. (in Russian).
11. Soldatenkov O.O. State environmental supervision: some questions of theory and practice // *Yuridicheskiy Mir.* 2014. No. 8. P. 43–47 (in Russian).
12. Butylina E.Y. Land supervision and control. Avtoref. diss. ... kand. jurid. nauk. Moskva, 2016. 27 p. (in Russian).
13. Kichigin N.V. To the question about the concept of environmental monitoring // legal issues of State, municipal and other forms of environmental control in Russia: Materialy kruglogo stola. Moskva, 2008. P. 29 (in Russian).
14. Byvalceva S.G., Belykh L.A. Distinguish environmental supervision authorities and prosecutors in the field of environmental protection ecology // *Biznes, memedzhment i pravo.* 2013. No. 1. P. 132–135 (in Russian).
15. Vinokurov Y.V., Sugrobov A.S. Activity of the Prosecutor's Office in the field of environmental protection ecology. Moskva, 1992. 40 p. (in Russian).
16. Gamidullaeva L.S. Increase efficiency of public environmental oversight at federal and regional level // *Leningradskiy yuridicheskiy zhurnal.* 2015. No. 4. P. 163–175 (in Russian).
17. Russin S.N. What is environmental sustainability strategy of the Russian Federation? // *Zhurnal Rossiyskogo Prava.* 2014. No. 7. P. 32–40 (in Russian).
18. Muhlynina M.M., Muhlynin D.N. Ecological safety as a factor of socio-economic development of the country within the framework of the implementation of the provisions of the new national security strategy of the Russian Federation // *Bezopasnost biznesa.* 2016. No. 5. P. 21–25 (in Russian).
19. Egiazarov V.A., Kichigin N.V. Environmental audit: prospects for legislative regulation // *Zhurnal Rossiyskogo Prava.* 2011. No. 4. P. 11–18 (in Russian).
20. Manohova S.V. Trade organizations on education and the accumulation of waste // *Torgovlya: bukhgalterskiy uchyot i nalogooblozheniye.* 2017. No. 1. P. 40–45 (in Russian).



30 сентября 2017 года на семьдесят первом году ушёл из жизни наш дорогой коллега, учитель, наставник, друг – профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией химии почв Института биологии Коми НЦ УрО РАН **ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ БЕЗНОСИКОВ**. Творческая деятельность Василия Александровича, как учёного, более 35 лет была неразрывно связана с жизнью Института биологии, его становлением и развитием.

Незаурядная научная интуиция, глубокие знания, широкий кругозор позволили Василию Александровичу стать основоположником целого направления и научной школы в Институте биологии, использующей для анализа органического вещества почв передовые научные достижения и методы химического анализа. Это предопределило вектор исследований и парадигму мышления многих сотрудников Института. Усилия Василия Александровича были направлены на развитие фундаментальных общепроцессуальных вопросов, актуальных вне зависимости от обстоятельств и настроений в обществе, а потому научный труд Василия Александровича не подлежит забвению...

Наследие Василия Александровича представлено более чем 250 работами. Многие годы результаты его исследований широко используются органами государственной власти Республики Коми по охране окружающей среды при принятии управленческих решений по стабилизации экологической обстановки в регионе, в практике сельского хозяйства и проектировании мелиоративных систем. Василий Александрович искренне верил, полагался на своих учеников, не скупясь, вкладывал в них все свои силы и опыт. Мы всегда будем благодарны Василию Александровичу за то многое, что он для нас сделал, передав каждому частицу себя.

Коллеги и друзья

Дополнения к правилам для авторов

В связи с новыми требованиями, предъявляемыми к журналам, включёнными в перечень ВАК, Scopus и Web of Science, редакция журнала обращает внимание на дополнения к правилам для авторов, опубликованным ранее на сайте журнала (<http://envjournal.ru/ctr.html>) и в журнале № 1, 2016 г. (С. 98–101).

Оформление литературы

Список литературы должен состоять не менее, чем из 20 источников, для обзорных статей – не менее 50 источников. Среди источников литературы обязательно должны быть иностранные научные статьи в международных изданиях (не менее 50%).

Ссылки на нормативные документы (кроме случаев, когда тематика и цель работы связаны напрямую с ними) должны быть представлены в минимальном количестве. Ссылки на тезисы (и прочие материалы конференций) принимаются в исключительных случаях, если это обосновано авторами.

Самоцитирование автора допускается не более 20% от количества источников в списке. Допускаются ссылки на публикации других авторов в журнале.

References. После списка литературы приводятся References. Названия работ и конференций, набранных в оригинале кириллицей, следует давать в английском переводе, а названия изданий – транслитерировать, на сайте журнала размещена программа транслитерации (<http://envjournal.ru/dlr.html>). Фамилии авторов статей переводятся в соответствии с учётными записями Scopus и Web of Science. В конце библиографической записи следует указывать язык оригинала, если он отличается от английского.

Примеры оформления References

Статьи в журналах: Abakumov E.V., Lodygin E.D., Gabov D.A., Krylenkov V. A. Polycyclic aromatic hydrocarbons content in Antarctica soils as exemplified by the Russian polar stations // *Gigiena i Sanitariya*. 2014. No. 1. P. 30–34 (in Russian).

Сборники статей и материалов: Drozanova T.S., Polikarpova L.V. The change of activity DNAase the river snail under the influence of cations of nickel // *Actual problems of biological and chemical ecology: Sbornik materialov V mezhduнародnoy nauchno-practicheskoy konferentsii*. 2016. P. 224–228 (in Russian).

Книги: Mukhin V.A. Biota of xylophobic basidiomycetes of the West Siberian Plain. Ekaterinburg: Nauka, 1993. 232 p. (in Russian).

Диссертации: Adamovich T.A. Geocological assessment and optimization of the system of monitoring of the territory around the Kirovo-Chepetsk Chemical Plant: Diss. ... kand. geographic. nauk. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy Federalnyy Universitet. 2012. 175 p. (in Russian).

Авторефераты диссертаций: Nikitina Yu.V. Development and research of technology of monitoring of dynamics of forest ecosystems on materials of remote sensing: Avtoref. ... cand. tech. nauk. Novosibirsk. 2007. 26 p. (in Russian).

Интернет-ресурсы: SkyKem – Advanced hygiene technology for the aircraft industry [Internet resource] <http://www.skykem.co.uk/> (Accessed: 16.08.2017).

Патентные документы: Efremenko E.N., Kholstov A.V., Voronova E.N., Konyukhov I.V., Pogosyan I.S., Rubin A.B. Biosensor based on microalgae cells for detecting heavy metals and herbicides in aqueous systems // Patent RU 2426779 C1. Application: 2009141878/10, 13.11.2009. Date of publication: 20.08.2011. Bull. 23 (in Russian).

Оформление таблиц и рисунков

Все названия таблиц и рисунков, а также обозначения в них должны быть на русском и английском языках.

Таблица 1/ Table 1

Видовой состав опылителей некоторых представителей рода *Serratula* Республики Коми (подзона средней тайги) / Species composition of pollinators of some members of the genus *Serratula* of the Komi Republic (middle taiga sub-zone)

Группа опылителей Pollinator groups	Виды растений Plant species		
	<i>S. coronata</i>	<i>S. inermis</i>	<i>S. quinquefolia</i>
Отр. / Ord. HETEROPTERA	3	0	2
Сем. / Fam. Miridae	1	0	1
Число видов Total species number	35	36	23

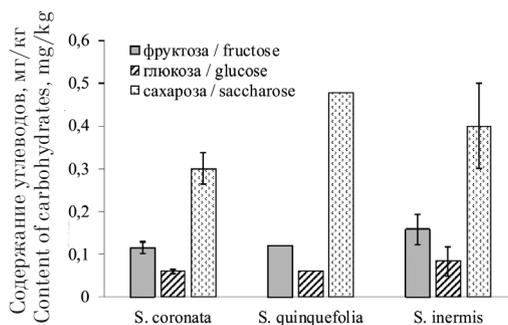


Рис. Содержание углеводов в образцах нектара трёх видов рода *Serratula*
Pic. The content of carbohydrates in nectar samples of three species of the genus *Serratula*

Основные правила подготовки публикаций в журнале представлены на официальном сайте журнала (<http://envjournal.ru/dlr.html>).

**Т. В. Полежаева, А. Н. Худяков, М. И. Сергушкина, И. Г. Широких,
А. А. Широких, О. М. Безмельцева, О. Н. Соломина, О. О. Зайцева
“Траметоидные трутовики Русской равнины как источник
полисахаридов с криопротекторными свойствами”, С. 103**

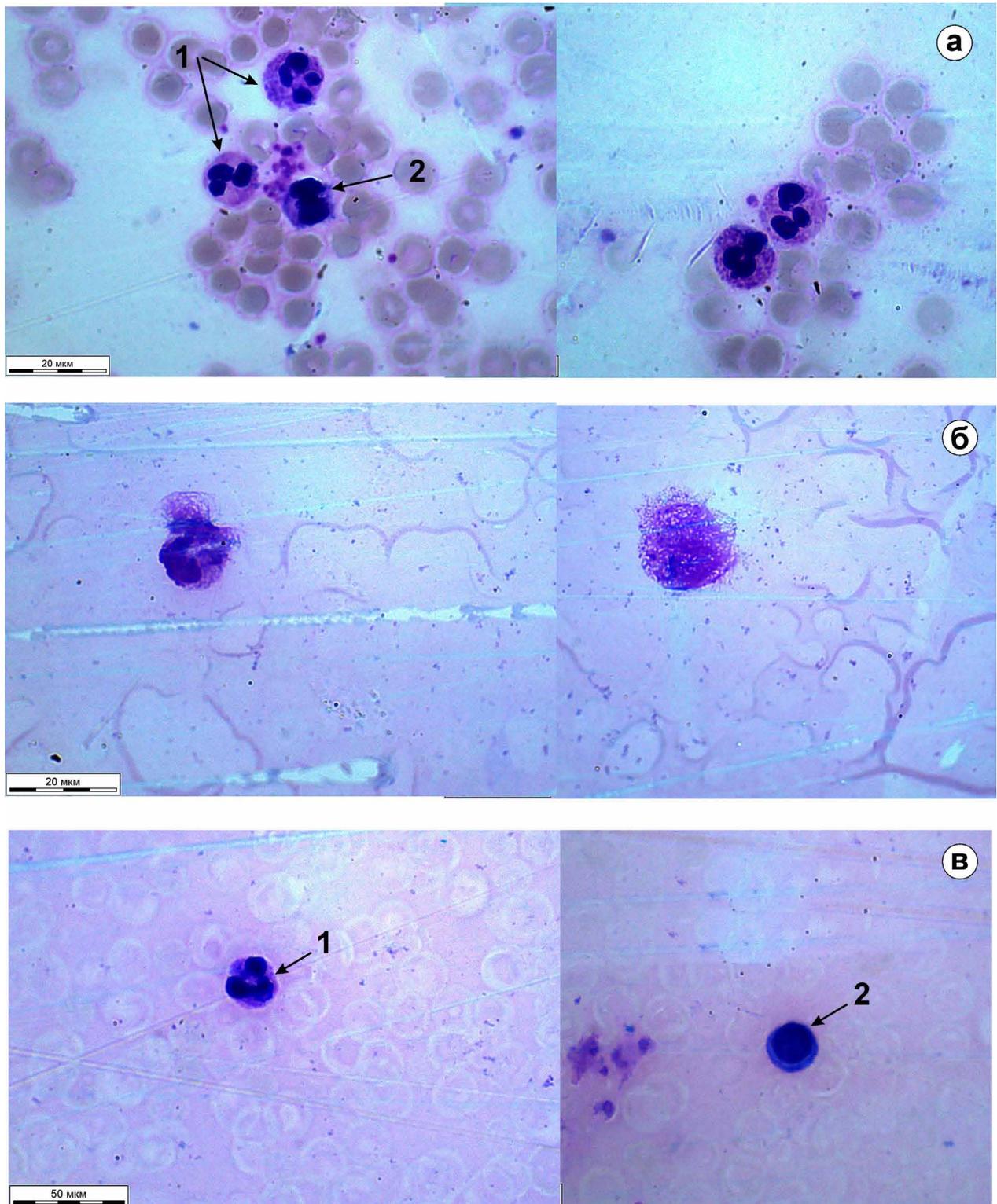


Рис. 2. Микрофотографии форменных элементов крови до и после криоконсервации: лейкоциты до замораживания – а, разрушенные лейкоциты после размораживания без протектора – б; лейкоциты после размораживания с протектором, содержащим глицерин и полисахариды *Trametes ochraceae* – в. Обозначения: 1 – сегментоядерный нейтрофил; 2 – лимфоцит.

Индекс 82027, 48482



ISSN 1995-4301



9 771995 430004