

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет (ВВГУ)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Монография

Владивосток
Издательство ВВГУ
2023

УДК 502.05(571.63)
ББК 20.173(2Рос-4При)
Э40

Рецензенты: С.В. Сеноотрсова, д-р биол. наук, профессор кафедры мировой экономики и управления внешнеэкономической деятельностью ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова;
М.С. Васильева, д-р хим. наук, доцент, профессор департамента химии и материалов ИНТиПМ ДВФУ, ведущий научный сотрудник лаборатории электрохимических процессов Института химии ДВО РАН

*Монография подготовлена и опубликована при финансовой поддержке
ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»*

**Экологические исследования на Дальнем Востоке России:
Э40 история и современность :** монография / Ю.В. Николаевская,
О.Н. Вороной, М.Д. Сигнаевская [и др.]; под ред. В.Ю. Цыганкова,
С.Б. Ярусовой ; Владивостокский государственный университет. –
Владивосток : Изд-во ВВГУ, 2023. – 372 с.

ISBN 978-5-9736-0685-5 DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-2023>

Монография посвящена истории развития экологических исследований на Дальнем Востоке; раскрывает современные проблемы окружающей среды Дальневосточного региона России. Особое внимание уделено экологическому образованию, просвещению и перспективам развития особо охраняемых территорий и экотуризма.

Для студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также широкого круга специалистов, интересующихся экологическими исследованиями Дальнего Востока России.

УДК 502.05(571.63)
ББК 20.173(2Рос-4При)

Авторский коллектив: Николаевская Ю.В., Вороной О.Н., Сигнаевская М.Д., Уфимцев Ю.Ю., Беланов М.А., Щелканов М.Ю., Панкратов Д.В., Боярова М.Д., Цыганков В.Ю., Бизбородов В.О., Гамов М.К., Ковековдова Л.Т., Лях В.А., Вшивкова Т.С., Гайко Л.А., Галышева Ю.А., Яковлева А.Н., Донец М.М., Кульшова В.И., Коженкова С.И., Дроздов К.А., Иваненко Н.В., Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Макеев С.С., Никулина Т.В., Невельская В.П., Чебан Д.С., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В., Жадько Е.А., Чусовитина С.В., Удовикин Т.Р., Черняев А.П., Фролов К.Р., Артемова М.И., Чешкин А.Е., Артемов П.М., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г., Дмитриева Е.Э., Медков М.А., Слесаренко В.В., Юдаков А.А., Власенко В.С., Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Кисель А.А., Буравлев И.Ю., Волков Д.А., Папынов Е.К., Шичалин О.О., Драньков А.Н., Майоров В.Ю., Печников В.С., Иванец А.И., Огнев А.В., Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Панасенко А.Е., Харченко У.В., Беленева И.А., Нехлюдова Е.А., Казанцев П.А., Гомилевская Г.А., Калинкина В.А., Крамар А.Б., Бардюк В.В., Сомова Е.Г., Берсенев Ю.И., Гатауллина С.Ю.

Авторы глав несут ответственность за их содержание. Научные редакторы монографии не всегда разделяют мнения авторов и не несут ответственности за недостоверность публикуемых данных. Научные редакторы монографии не несут никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией глав.

ISBN 978-5-9736-00685-5

© Авторский коллектив, текст, 2023

© ФГБОУ ВО «Владивостокский
государственный университет», издание,
2023

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Vladivostok State University (VVSU)

ENVIRONMENTAL RESEARCH IN THE RUSSIAN FAR EAST

HISTORY AND PRESENT TIME

Monograph

Vladivostok
VVSU Publishing House
2023

УДК 502.05 (571.63)
ББК 20.173 (2Ros-4Pri)
E40

Reviewers: S.V. Senotrusova, Dr. Sci., Professor, Departments of World Economy and Management of Foreign Economic Activity, FPA Lomonosov Moscow State University;
M.S. Vasileva, Dr. Chem. Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Chemistry and Materials, INTiPM FEFU, Leading Researcher, Laboratory of Electrochemical Processes, Institute of Chemistry, FEA RAS

The monograph was prepared and published with the financial support of Vladivostok State University

Environmental Research in the Russian Far East: History and Present Time : monograph / Yu.V. Nikolaevskaya, O.N. Voronoy, M.D. Signalevskaya [et al.]; edited by V.Yu. Tsygankov, S.B. Yarusova; Vladivostok State University. – Vladivostok: Publishing House of VVSU, 2023. – 372 c.

ISBN 978-5-9736-0685-5 DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-2023>

The monograph is devoted to the history of the development of environmental research in the Far East; reveals modern environmental problems of the Far Eastern region of Russia. Special attention is paid to environmental education, education and prospects for the development of specially protected areas and ecotourism.

For students and graduate students of higher educational institutions, as well as a wide range of specialists interested in environmental research of the Russian Far East..

UDC 502.05 (571.63)
BBC 20.173 (2Ros-4Pri)

Authors: Nikolaevskaya Yu.V., Voronoy O.N., Signaevskaya M.D., Ufimtsev Yu.Yu., Belanov M.A., Shchelkanov M.Yu., Pankratov D.V., Boyarova M.D., Tsygankov V. Yu., Bizborodov V.O., Gamov M.K., Kovekovdova L.T., Lyakh V.A., Vshivkova T.S., Gayko L.A., Galysheva Yu.A., Yakovleva A.N., Donetsk M.M., Kulshova V.I., Kozhenkova S.I., Drozdov K.A., Ivanenko N.V., Golov V.I., Burduncovskii M.L., Makeev S.S., Nikulina T.V., Nevelskaya V.P., Cheban D.S., Steblevskaya N.I., Polyakova N.V., Zhadko E.A., Chusovitina S.V., Udovikin T.R., Chernyaev A. P., Frolov K.R., Artemova M.I., Cheshkin A.E., Artemov P.M., Krysenko G.F., Epov D.G., Dmitrieva E.E., Medkov M.A., Slesarenko V.V., Yudakov A.A., Vlasenko V.S., Tsybul'skaya O.N., Ksenik T.V., Kisel A.A., Buravlev I.Yu., Volkov D.A., Papynov E.K., Shichalin O.O., Drankov A.N., Mayorov V.Yu., Pechnikov V.S., Ivanets A.I., Ognev A.V., Yarusova S.B., Gordienko P.S., Panasenko A.E., Kharchenko U.V., Beleva I.A., Nekhludova E.A., Kazantsev P.A., Gomilevskaya G.A., Kalinkina V.A., Kramar A.B., Barduk V.V., Somova E.G., Bersenev Yu.I., Gataullina S.Yu.

The authors of the chapters are responsible for their content. Scientific editors of a monograph do not always share the opinions of the authors and are not responsible for the unreliability of the published data. The scientific editors of the monograph do not bear any responsibility to the authors and / or third parties and organizations for possible damage caused by the publication of chapters.

ISBN 978-5-9736-00685-5

© Collective of authors, text, 2023

© Vladivostok State University, edition, design, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ CONTENTS

ОТ РЕДАКТОРОВ	10
FROM THE EDITORS	11

ВВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION).....	12

Раздел I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И В.К. АРСЕНЬЕВ

Section I. THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND V.K. ARSRNYEV

Глава 1. Владимир Клавдиевич Арсеньев (1872–1930) – защитник природы Дальнего Востока. <i>Ю.В. Николаевская</i>	16
Chapter 1. Vladimir K. Arseniev (1872–1930) – a protector of nature in the Far East. <i>Yuliya V. Nikolaevskaya</i>	21
Глава 2. Великий эколог. Экологическая художественная литература. Экология души человечества. <i>О.Н. Вороной</i>	22
Chapter 2. Great ecologist. Ecological fiction. Ecology of the human soul. <i>Oleg N. Voronoy</i>	29
Глава 3. Изучение произведений В.К. Арсеньева на уроках дополнительного образования как часть патриотического воспитания школьников. <i>М.Д. Сигнаевская</i>	30
Chapter 3. The study of the works of V.K. Arsenyev in extracurricular activities as part of the patriotic education of schoolchildren. <i>Marionella D. Signalevskaya</i>	37
Глава 4. Поверженные великаны: Медвежий Щёк – главная природная достопримечательность Приморья XIX века. <i>Ю.Ю. Уфимцев</i>	38
Chapter 4. Defeated giants: Bear Cheeks – the main natural attraction of Primorye of the XIX century. <i>Yuriy Yu. Ufimtsev</i>	41

Раздел II. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Глава 5. Птицы водно-околоводного экологического комплекса в системе мониторинга стойких органических загрязнителей. <i>М.А. Беланов, М.Ю. Щелканов, Д.В. Панкратов, М.Д. Боярова, В.Ю. Цыганков</i>	42
Chapter 5. Birds of the aquatic and semiaquatic ecological complex in the system of persistent organic pollutants monitoring. <i>Maksim A. Belanov, Mikhail Yu.</i>	

<i>Shchelkanov</i> ”, <i>Dmitry V. Pankratov, Margarita D. Boyarova, Vasiliy Yu. Tsygankov</i>	54
Глава 6. Тяжелые металлы и мышьяк в органах рыб семейства карповых (CYPRINIDAE) реки Амур. <i>В.О. Бизбородов, М.К. Гамов, Л.Т. Ковековдова, В.А. Лях, В.Ю. Цыганков</i>	55
Chapter 6. Heavy metals and arsenic in the organs of fish of the carp family (CYPRINIDAE) of the Amur river. <i>Vyacheslav O. Bizborodov, Matvey K. Gamov, Lidiya T. Kovekovdova, Vladimir A. Lyakh, Vasiliy Yu. Tsygankov</i>	64
Глава 7. Проблемы сохранения биоразнообразия на урбанизированных территориях: международный опыт и региональный аспект восстановления городских водотоков. <i>Т.С. Вишкова</i> ”	65
Chapter 7. Problems of biodiversity conservation in urbanized territories: international experience and regional aspect of urban watercourse restoration river. <i>Tatyana S. Vshivkova</i> ”	71
Глава 8. Особенности температурного режима прибрежной зоны Приморского края на рубеже веков. <i>Л.А. Гайко</i>	73
Chapter 8. Features of the temperature regime of the coastal zone of Primorsky krai at the turn of the century. <i>Larissa A. Gayko</i>	81
Глава 9. Природные особенности и сохранение биоразнообразия Северо-Восточной Азии. <i>Ю.А. Галышева, А.Н. Яковлева</i>	83
Chapter 9. Natural features and conservation of the biodiversity of North-East Asia. <i>Yuliya A. Galysheva, Anna N. Yakovleva</i>	88
Глава 10. Токсичные элементы в органах малоглазого макрураса (ALBATROSSIA PECTORALIS) как фактор риска для здоровья человека. <i>М.К. Гамов, Л.Т. Ковековдова, М.Д. Боярова, В.Ю. Цыганков</i>	89
Chapter 10. Toxic elements in organs of giant grenadier (ALBATROSSIA PECTORALIS) as human health risk factor. <i>Matvey K. Gamov, Lidiya T. Kovekovdova, Margarita D. Boyarova, Vasiliy Yu. Tsygankov</i>	99
Глава 11. Стойкие органические загрязняющие вещества в рыбах озера Ханка. <i>М.М. Донец, М.Д. Боярова, В.И. Кульшова, С.И. Коженкова, В.А. Лях, В.Ю. Цыганков</i>	101
Chapter 11. Persistent organic pollutants in fish of Khanka lake. <i>Maksim M. Donets, Margarita D. Boyarova, Veronika I. Kulshova, Svetlana I. Kozhenkova, Vladimir A. Lyakh, Vasiliy Yu. Tsygankov</i>	112
Глава 12. Общественные экологические экспертизы в Приморском крае: опыт работы и предложения по оптимизации. <i>К.А. Дроздов</i>	113
Chapter 12. Public environmental expertise in Primorsky krai: work experience and optimization suggestions. <i>Konstantin A. Drozdov</i>	120
Глава 13. Экологическое состояние пахотных почв Приморского края. <i>Н.В. Иваненко, В.И. Голов, М.Л. Бурдуковский</i>	121
Chapter 13. Ecological state of arable soils of Primorsky krai. <i>Natalya V. Ivanenko, Vladimir I. Golov, Maksim L. Burducovskii</i>	130
Глава 14. О современном состоянии и необходимости принятия срочных мер по сохранению сахалинского тайменя. <i>С.С. Макеев</i>	131

Chapter 14. On the current state and the need for urgent measures to preserve the sakhalin taimen. <i>Sergey S. Makeev</i>	137
Глава 15. Описание перифитонных альгосообществ устьевой зоны безымянного ручья, протекающего по полигону твердых бытовых отходов (г. Владивосток). <i>Т.В. Никулина, В.П. Невельская, Д.С. Чебан</i>	138
Chapter 15. Description of periphyton algal communities of the mouth of stream flowing through solid domestic waste landfill territory (Vladivostok). <i>Tatyana V. Nikulina, Valeriya P. Nevelskaya, Diana S. Cheban</i>	155
Глава 16. Мониторинг токсичных элементов в гидробионтах Залива Петра Великого Японского моря. <i>Н.И. Стеблевская, Н.В. Полякова, Е.А. Жадько, С.В. Чусовитина</i>	156
Chapter 16. Monitoring of toxic elements in hydrobionts of Peter the Great bay of the Sea of Japan. <i>Nadezhda I. Steblevskaya, Natalia V. Polyakova, Elena A. Zhadko, Svetlana V. Chusovitina</i>	171
Глава 17. Иглокожие как индикаторы загрязнения Японского моря полициклическими ароматическими углеводородами. <i>Т.Р. Удовикин, А.П. Черняев, В.Ю. Цыганков</i>	172
Chapter 17. Echinoderms as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution of the sea of Japan. <i>Timur R. Udovikin, Andrey P. Chernyaev, Vasily Yu. Tsygankov</i>	192
Глава 18. Экологический мониторинг состояния природных вод в зоне влияния горнопромышленных техногенных систем Приморского края. <i>К.Р. Фролов, М.И. Артемова, А.Е. Чешкин, П.М. Артемов</i>	193
Chapter 18. Environmental monitoring of natural waters in the zone of Primorsky kraj mining technogenic systems impact. <i>Konstantin R. Frolov, Maria I. Artemova, Andrey E. Cheshkin, Pavel M. Artemov</i>	203

Раздел III. НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Глава 19. Создание замкнутых технологий комплексной переработки боросиликатного минерального сырья как способ улучшения качества окружающей среды в регионе. <i>Г.Ф. Крысенко, Д.Г. Эпов, Е.Э. Дмитриева, М.А. Медков</i>	205
Chapter 19. Creation of closed technologies for complex processing of borosilicate mineral raw materials as a way to improve environmental quality in the region. <i>Galina F. Krysenko, Dantiy G. Epov, Elena E. Dmitrieva, Michail A. Medkov</i>	216
Глава 20. Биогазовые установки для утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий Приморского края. <i>В.В. Слесаренко, А.А. Юдаков, В.С. Власенко</i>	218
Chapter 20. Biogas plants for utilization of waste from agricultural enterprises in Primorsky kraj. <i>Vyacheslav V. Slesarenko, Alexander A. Yudakov, Viktor S. Vlasenko</i>	228

Глава 21. Получение из пористых техногенных алюмосиликатов олеофильных сорбентов для очистки водных объектов от органических загрязнений. <i>О.Н. Цыбульская, Т.В. Ксеник, А.А. Юдаков, А.А. Кисель</i>	229
Chapter 21. Obtaining oleophilic sorbents from porous technogenic aluminosilicates for the purification of water bodies from organic pollutants. <i>Oksana N. Tsybul'skaya, Tatiana V. Ksenik, Alexander A. Yudakov, Alexey A. Kisel</i>	241
Глава 22. Разработка и реализация процессов обезвреживания хромсодержащих отходов промышленных предприятий. <i>О.Н. Цыбульская, Т.В. Ксеник, А.А. Юдаков, И.Ю. Буравлев, Д.А. Волков, А.А. Кисель</i>	242
Chapter 22. Design and implementation of processes for industrial chromium containing waste processing. <i>Oksana N. Tsybul'skaya, Tatiana V. Ksenik, Alexander A. Yudakov, Igor Yu. Buravlev, Dmitry A. Volkov, Alexey A. Kisel</i>	255
Глава 23. Магнитный сорбент на основе цеолита структуры нозеана для очистки водных сред от радионуклидов цезия и стронция. <i>Е.К. Папынов, О.О. Шичалин, А.Н. Драньков, В.Ю. Майоров, В.С. Печников, А.И. Иванец, И.Ю. Буравлев, А.В. Огнев</i>	256
Chapter 23. Magnetic sorbent based on zeolite of nosean structure for cesium and strontium radionuclides wastewater purification. <i>Evgeny K. Papynov, Oleg O. Shichalin¹, Artur N. Drankov, Vitaly Yu. Mayorov, Vladimir S. Pechnikov, Andrey I. Ivanets, Igor Yu. Buravlev, Alexey V. Ognev</i>	275
Глава 24. Потенциал использования синтетических силикатов кальция для очистки водных сред от различных поллютантов. <i>С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, А.Е. Панасенко, У.В. Харченко, И.А. Беленева, Е.А. Нехлюдова</i>	277
Chapter 24. The potential of applying synthetic calcium silicates for the purification of aqueous media from various pollutants. <i>Sofya B. Yarusova, Pavel S. Gordienko, Alexander E. Panasenko, Ulyana V. Kharchenko, Irina A. Beleneva, Ekaterina A. Nekhliudova</i>	295
Глава 25. Архитектурно-градостроительный подход к восстановлению биоразнообразия в городской среде. <i>П.А. Казанцев</i>	297
Chapter 25. Architectural and urban planning method of restoration of biodiversity in the urban environment. <i>Pavel A. Kazantsev</i>	312

Раздел IV. РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОСВЕЩЕНИЯ

Section IV. DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT EDUCATION AND ENLIGHTENMENT

Глава 26. Опыт научного сотрудничества Международного Института окружающей среды и туризма (Владивостокский Государственный университет) с академическими институтами ДВО РАН в сфере экологического образования и профессиональной подготовки студентов. <i>Г.А. Гомилевская, Т.С. Вшивкова</i>	313
Chapter 26. Experience of scientific cooperation of International Institute of environment and tourism (Vladivostok State university) with academic institutes of the far eastern branch of russian academy of science in the field	

of environmental education and professional training of students. <i>Galina A. Gomilevskaya, Tatyana S. Vshivkova</i>	326
Глава 27. Исследовательская деятельность как один из механизмов формирования экологической культуры. <i>В.А. Калинкина</i>	327
Chapter 27. Research activity as one of the mechanisms for the formation of ecological culture. <i>Valentina A. Kalinkina</i>	332
Глава 28. Наука в «Океане»: взаимодействие в сфере дополнительного образования между академическими институтами, вузами и ВДЦ «Океан». <i>А.Б. Крамар, Т.С. Вишивкова, К.А. Дроздов</i>	333
Chapter 28. Science in the "Ocean": interaction in the field of additional education between academic institutions, universities and ARCC "Ocean". <i>Alexandr B. Kramar, Tatyana S. Vshivkova, Konstantin A. Drozdov</i>	341

Раздел V. ООПТ И ЭКОТУРИЗМ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Section V. PROTECTED AREAS AND ECOTOURISM: PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Глава 29. Развитие сотрудничества на базе биосферных резерватов юга Приморского края. <i>В.В. Бардюк, Е.Г. Сомова</i>	342
Chapter 29. Cooperation development based on biosphere reserves in Southern Primorye. <i>Victor V. Bardyuk, Evgeniya G. Somova</i>	349
Глава 30. Тенденции в развитии системы особо охраняемых природных территорий и сохранении природной среды Приморского края. <i>Ю.И. Берсенева</i>	350
Chapter 30. Trends in the development of the system of specially protected natural areas and the preservation of the natural environment of Primorsky krai. <i>Yuriy I. Bersenev</i>	360
Глава 31. Роль местного населения в развитии экологического туризма на особо охраняемых природных территориях. <i>С.Ю. Гатауллина</i>	361
Chapter 31. The role of the local population in the development of ecological tourism in specially protected natural areas. <i>Svetlana Yu. Gataullina</i>	371

ОТ РЕДАКТОРОВ

Дальний Восток России – уникальный регион. Богатейшая природа, минеральные ресурсы, разнообразие растительного и животного мира делают его знаменитым и узнаваемым во всем мире. Но, как и другие регионы нашей страны, он имеет свои экологические проблемы, и часть из них осветили авторы глав книги.

Экологические исследования на Дальнем Востоке начинаются с деятельности Владимира Клавдиевича Арсеньева, которого по праву называют первым дальневосточным экологом. Первый раздел книги посвящен этому замечательному первопроходцу и великому ученому-натуралисту, его исследованиям и познаниям, немного его биографии, экспедициям, изысканиям и письмам, тому, как можно воспитывать детей, опираясь на жизнь, успехи и научную деятельность Владимира Клавдиевича.

Во втором разделе монографии раскрываются многие современные экологические проблемы Дальнего Востока, которые изучают ученые ведущих университетов и институтов Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Третий раздел книги знакомит с научными разработками ученых, занимающихся поиском путей решения актуальных экологических проблем и перспективных технологий, которые создаются для улучшения качества и защиты окружающей среды. Это и различные сорбенты, и утилизация отходов, и зеленые технологии.

В четвертом и пятом разделах рассмотрены некоторые вопросы развития экологического образования, просвещения, экологического туризма, а также проблемы особо охраняемых природных территорий.

Надеемся, что книга получилась многогранной, нужной и интересной, а объединяет разные грани этой книги экология и наша любовь к природе.

Научные редакторы

В.Ю. Цыганков, д-р биол. наук

С.Б. Ярусова, канд. хим. наук

FROM THE EDITORS

The Russian Far East is a unique region. Its richest nature, mineral resources, and high diversity of flora and fauna make it world famous and highly recognizable. But, like other regions of our country, it has its environmental problems, and some of them have been highlighted by the authors of the book chapters that you are holding.

Ecological research in the Far East begins with the activities of Vladimir Kladievich Arseniev, who is called the first Far Eastern ecologist by right. The first section of our book is devoted to this remarkable pioneering explorer and great scientist-naturalist, his research and knowledge, his brief biography, his expeditions, investigations, and letters. On how one can educate our children based on his life, advancements, and scientific activities.

In the second section of the monograph, you will learn about the current environmental problems of the Far East (not all, of course, but many), which are studied by scientists from leading universities and the institutions of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

The third section of the book will introduce you to the scientific developments of scientists engaged in the search for solutions to current environmental problems and promising technologies that are created to improve the quality and protect the environment. These are different sorbents, waste recycling and green technologies.

In the fourth and fifth sections of our book some issues of the development of environmental education, enlightenment, ecological tourism, as well as the problems of specially protected areas of nature are considered.

We hope that the book is comprehensive, necessary, and interesting. And the different facets of this book are united by ecology and our love for nature.

Scientific editors

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci.

Sofya B. Yarusova, Ph.D.

Когда «наука о доме» (Экология) и наука о ведении домашнего хозяйства (Экономика) сольются и когда предмет Этики расширит свои границы и включит в себя наряду с ценностями, производимыми человеком, ценности, создаваемые природой, тогда мы на самом деле сможем стать оптимистами относительно будущего человечества.

Юджин Одум (1913–2002)

ВВЕДЕНИЕ **INTRODUCTION**

Природа – недостаточно изученный и оцененный механизм становления и развития цивилизаций, формирования облика сообществ и отдельных людей. Хотя уже в древние века была установлена связь природы и человека, в настоящее время большинство человечества продолжает жить, игнорируя эту базисную зависимость. Родоначальником учения о зависимости развития человеческого общества от природных особенностей считается Гиппократ, который в своей работе «О воздухах, водах и местностях» делает вывод о том, что природа и климат влияют не только на здоровье, но и на характер людей. Вслед за ним Геродот в своем сочинении «История» объясняет черты характера и политический строй разных стран особенностями природы. Много говорили о связи природы и становления личности такие русские философы, как Сергей Соловьев, Василий Ключевский, Николай Бердяев, Лев Гумилев и другие.

Происходившие в результате хозяйственной деятельности изменения природных условий в древности еще не были широкомасштабными и носили локальный характер. Тем не менее в ряде случаев они вели к эрозии и засолению почв, опустыниванию, а в итоге к региональным экологическим кризисам и исчезновению цивилизаций, их создавших. История, однако, сохранила множество положительных примеров, показывающих, как человек и природа гармонично уживались, дополняя друг друга, несмотря на то, что влияние природного фактора на состояние общества, его развитие, демографический рост было исключительно сильным. Человек умел понимать природу, правильно ее использовать, избегать природных катаклизмов по мере своих сил и накопленных знаний. Поэтому образ природы был важнейшим в духовной жизни общества, люди обожествляли ее, воспевали, боялись и были благодарны ей за щедрость. Люди древности не отделяли себя от окружающей их природной среды, считая себя ее неразрывной частью.

С развитием научно-технического прогресса пришли другие времена. Человек провозгласил себя средоточием Вселенной и целью всех совершающихся в мире событий. Такой взгляд на природу получил в философии название «антропоцентризм», который постулировал, что человек – хозяин природы и он имеет право получать из окружающего мира нужные ему ресурсы, даже путем ущемления других биологических видов. К чему это привело – мы все знаем, стоит просто посмотреть вокруг – загрязненные городские пространства, морское по-

бережье, вырубленные леса, истощенные, загрязненные и замусоренные почвы – все это в пределах нашей видимости, стоит посмотреть из окна, пройти по городу и его окрестностям. Конец XX в. показал во всей красе достижения эгоцентризма – трагического и недальновидного пути развития человеческого общества – пути, ведущего в один конец, в экологическую пропасть. Однако, по мнению современных философов, позитивно мыслящих ученых, экологов, у человечества еще остается шанс на выживание. И этот шанс состоит в императиве его экологического выживания на Земле, которое возможно только в единственной теоретически обоснованной парадигме, в научно-мировоззренческой системе ноосферизма – в форме управляемой социоприродной эволюции на базе общественного интеллекта, научно-образовательного общества и ноосферного экологического духовного Социализма. Переход человечества на ноосферную парадигму устойчивого развития есть миссия всего XXI в. Но особенно ответственными и революционными, как считают апологеты ноосферизма, будут ближайшие 30 лет до середины XXI в. Концепция эгоцентризма должна смениться экоцентрической парадигмой, рассматривающей человечество как составную часть природы, подчиняющуюся ее общим законам, а также испытывающую на себе негативные последствия нарушения закономерностей ее развития.

Один из главных принципов экоцентрической (биоцентрической) парадигмы изначально предполагает, что **чем большим объемом экологических знаний располагает общество, тем более ответственные решения оно принимает по вопросам окружающей среды.** Поэтому для практического осуществления принципов ноосферизма большое значение имеет просветительская деятельность ученых, преподавателей вузов и школ, активистов и волонтеров экологического движения. Большую роль как форма передачи таких знаний играют широкомасштабные экологические мероприятия разного уровня, открытые для различных слоев населения: форумы, конференции, лектории, семинары, мастер-классы, на которых и в сложной, и в доступной форме (в зависимости от степени подготовленности аудитории) должны объясняться теоретические и практические положения ноосферной науки. Роль академической науки и высшей школы – направляющая, координирующая и объединяющая – приобретает очень большое значение. Особенно важно, чтобы такая просветительская деятельность научной элиты шла в кооперации со структурами власти и СМИ. Настойчиво и постепенно общество должно идти к пониманию важности сохранения окружающего мира, жизни на земле. А это возможно только при условии, если каждый член общества станет экологом, ноосферистом, проникнется идеей эгоцентризма и станет строить свою личную жизнь на этих принципах.

На последней Генеральной конференции ЮНЕСКО была принята резолюция о провозглашении 2022 г. **Международным годом фундаментальных наук в интересах устойчивого развития** (International Year of Basic Sciences for Sustainable Development – IYBSSD 2022). Один из первых шагов в выполнении задач Международного года устойчивого развития в Приморском крае был сделан Владивостокским государственным университетом – проведение Международного экологического форума «Сохранение биоразнообразия в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 50 лет Программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера (МАБ)», который прошел с 29 марта по 1 апреля 2022 г. на площадке «Точка кипения» ВВГУ. Форум преследовал именно такую задачу – обсудить вопросы сохранения окружающей среды и биоразнообразия в регионе АТР, наиболее

активно развивающемся и экономически значимом в мире в настоящее время. Большие задачи требуют большой ответственности. Экономическое развитие в XXI в. должно соответствовать вызовам времени и проходить с учетом экологических приоритетов, т.е. стремиться быть ноосферическим, руководствоваться задачами и потребностями человека разумного. Особенно важна тема гармонического развития экономики для Дальневосточного региона РФ, в частности его южной части. И Приморский край со своей богатой и разнообразной биотой, удивительной уссурийской тайгой должен быть на передовых позициях ноосферизма – способствовать формированию гармоничного человека, для которого «хорошо жить» – значит, прежде всего, жить в благоприятной природной обстановке. Для нас, взрослых и молодежи, руководителей регионов, организаций и обычных жителей-дальневосточников, защита природы должна стать делом жизни.

Целью Форума явилась выработка стратегических направлений реализации программ сохранения биологического разнообразия и мониторинга состояния окружающей среды в Азиатско-Тихоокеанском регионе при участии научных и образовательных учреждений, государственных, общественных организаций и предпринимательских структур.

Задачами Форума стали:

- оценка экологических проблем и определение приоритетов сохранения биоразнообразия и устойчивого развития в Азиатско-Тихоокеанском регионе;
- разработка и совершенствование методов охраны окружающей среды, создание условий для реализации природоохранных инициатив;
- повышение роли особо охраняемых природных территорий и биосферных резерватов в сохранении и восстановлении природных экосистем в АТР и на Дальнем Востоке России;
- активизация взаимодействия в системе «общество – наука – власть – бизнес» в области разработки нормативно-правового обеспечения охраны биоразнообразия и окружающей среды в рамках национальных стратегий и государственной политики стран АТР;
- выработка предложений по укреплению сотрудничества в АТР по программе МАБ при поддержке Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана (ESCAP-ENEA) и Сети восточноазиатских биосферных заповедников (EABRN);
- развитие профессиональных компетенций и методов организации экотуристской деятельности в соответствии с принципами экологически устойчивого туризма, направленных на сохранение биоразнообразия;
- поддержка молодежных творческих и научно-технических инициатив по охране, восстановлению и рациональному использованию природных ресурсов в рамках реализации программ экологического образования и просвещения.

В рамках Международного экологического форума прошло несколько таких важных мероприятий, как секция «Арсеньев В.К. – исследователь Дальнего Востока», презентация выпуска журнала «Записки общества изучения Амурского края», посвященного 150-летию В.К. Арсеньева, V экологическая конференция «Актуальные проблемы экологии Дальнего Востока (памяти профессора Б.В. Преображенского)», Форсайт-сессия по развитию экологического туризма в Приморском крае, Тематическая книжная выставка и фотовыставка «Человек и биосфера» и XIX Международная молодежная экологическая конференция-конкурс «Человек и биосфера».

Аудитория Форума: представители научно-образовательного сообщества, общественных экологических организаций, бизнес-структур, природоохранных учреждений и сферы государственного управления. В конференции-конкурсе «Человек и биосфера» приняли участие дошкольники, учащиеся средней и старшей школы, студенты вузов, аспиранты Российской Федерации и представители азиатских стран-соседей.

По итогам XIX Международной молодежной экологической конференции «Человек и биосфера» подготовлен сборник тезисов. Часть материалов конференции представлена в настоящей монографии.

Объединение усилий власти, науки, общественности и бизнеса для создания общих стратегий в целях достижения большой и очень важной задачи – сохранение окружающей среды региона АТР в условиях интенсивного экономического развития – является важным этапом главной миссии экологических лидеров в XXI в. Это сложная, но выполнимая задача, так как мы все понимаем, что сохранение нашей удивительной природы, увеличение ее туристической привлекательности, улучшение качества жизни и сохранение здоровья населения невозможно без бережного и разумного отношения к окружающей среде, без внедрения «зеленых технологий», без изменения менталитета людей – повышения их ответственности за сохранение наших природных богатств.

Мы устремлены в будущее. В экологическое будущее. Поэтому уделяется большое внимание просветительской деятельности и подготовке специалистов экологических направлений, так как им предстоит решение великой и благородной задачи – изменить мир к лучшему, сохранить жизнь на нашей планете! И эту задачу мы выполняем вместе с учеными, общественностью, властью, бизнесом, потому что во взаимодействии этих главных структур общества – залог будущего развития и процветания нашего региона, нашей страны, планеты Земля.

Г.А. Гомилевская,
директор Международного института
окружающей среды и туризма,
Владивостокский государственный университет

Т.С. Вишневкова,
президент Научно-общественного координационного
центра «Живая вода» при ФНЦ
Биоразнообразия ДВО РАН

Раздел I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И В.К. АРСЕНЬЕВ

Глава 1. ВЛАДИМИР КЛАВДИЕВИЧ АРСЕНЬЕВ (1872–1930) – ЗАЩИТНИК ПРИРОДЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Ю.В. Николаевская¹

Аннотация. Представлена биографическая информация о Владимире Клавдиевиче Арсеньеве: детство и юность, учеба и путешествия, экспедиции и книги, его желание изучать и защищать природу края.

Ключевые слова: В.К. Арсеньев; биография; наука края; Дальний Восток

Родители Арсеньева. Его детство и юность

О том, что Володя Арсеньев родился в Петербурге, иногда словно забывают, считая его старожилом-дальневосточником. Действительно, на Дальнем Востоке он провел тридцать лет своей жизни, и именно в Уссурийском крае сполна раскрылись его характер и дарования... Но сформировался этот характер благодаря его отцу Клавдию Арсеньеву.

Клавдий Арсеньев использовал каждую свободную минуту, чтобы заниматься с детьми русским языком, математикой, историей, географией. «Он стремился у всех нас детей вырастить красивый почерк, умение решать задачи и знать наизусть государства земного шара, их главные города и пр.», вспоминал позже Арсеньев.

География вошла в жизнь Володи Арсеньева с малых лет. В 1877–1878 гг. шла Русско-турецкая война. В семье Арсеньевых пристально следили за ее событиями. Пятилетний Володя впервые увидел географическую карту, когда вместе с отцом отмечал маршруты войск, искал города, названия которых фигурировали в сводках военных действий.

Эрудированный отец, Клавдий Арсеньев, имел небольшую домашнюю библиотеку, и с детства прививал сыновьям любовь к чтению. Он часто читал детям книги Тургенева, Толстого, Гоголя и других писателей и поэтов.

По воспоминаниям Володи Арсеньева, он, несмотря на то, что рос непоседливым ребенком, всегда с нетерпением ждал вечера, когда отец начнет читать. Самого Володю, правда, увлекали больше приключенческие книги Жюль Верна, Луи Жаколио, Густава Эмара и Томаса Майн Рида.

¹ Приморское краевое отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» – Общество изучения Амурского края, 690091, Приморский край, г. Владивосток, ул. Петра Великого, 4.

Увлечению юного Арсеньева путешествиями сильно поспособствовала его дружба со своим родным дядей, Иоилем Егоровичем Кашлачевым, большим знатоком природы. Дядя Иоиль хорошо разбирался и в деревьях, и в травах, и в грибах, узнавал птиц по крику, умел рыбачить, охотиться, а главное, чувствовал прелесть жизни, понимал ее красоту и старался приобщить к этой красоте своих сыновей и племянников.

Летом Арсеньевы и Кашлачевы ездили в село Саблино. По выходным взрослые и дети проводили целые дни в лесу, на рыбалке и в небольших походах. Нередко Иоиль вместе со своими сыновьями и племянниками совершал плавания по реке Тосна [5]. По словам самого Арсеньева, он стал путешественником именно в те годы.

Все эти поездки и походы привели к тому, что Володю Арсеньева стала интересовать научная и природоведческая литература. Особую любовь он стал питать к описаниям путешествий. Его очень заинтересовало описание кругосветного путешествия Чарльза Дарвина на корабле «Бигль». Но особую любовь юный Арсеньев питал к очеркам Николая Михайловича Пржевальского, который со временем стал настоящим кумиром Володи. С восторгом он перечитывал раз за разом его описания путешествий по родной земле, втайне ото всех мечтая когда-нибудь своими глазами увидеть красоту природы Дальнего Востока, увидеть тигра и других диковинных животных и растений уссурийской тайги.

Петербургское юнкерское пехотное училище

В сентябре 1893 г. Арсеньеву исполнился 21 год, и он поступил в Петербургское юнкерское пехотное училище. Сугубо военные дисциплины дали Арсеньеву многое из того, что так пригодилось ему впоследствии.

Среди преподавателей училища было немало интересных и известных людей. Военную географию, например, преподавал известный географ Михаил Ефимович Грум-Гржимайло, брат знаменитого исследователя Средней и Центральной Азии Г.Е. Грум-Гржимайло [1]. И это стало еще одним из тех обстоятельств, которое определило будущую судьбу В.К. Арсеньева.

По ночам в курительной комнате, когда все училище погружалось в глубокий сон, Арсеньев жадно читал книги по географии и этнографии Сибири и Центральной Азии. Многие книги Арсеньеву рекомендовал и приносил Грум-Гржимайло, в том числе и географические сочинения о Восточной Сибири.

В 1896 г. училище с отличием было закончено. Владимиру исполнилось 24 года.

Польша

Арсеньев просился на службу в какой-нибудь из полков, стоявших в Восточной Сибири, но вакансий не было. В январе 1896 г. Арсеньев был «высочайшим приказом произведен в подпоручики с переводом в 14-й пехотный Олонецкий полк», который дислоцировался в польском городе Ломжа (Польша входила тогда в состав Российской Империи) [1].

Жизнь и служба в Ломже позволила В.К. Арсеньеву больше читать и готовить себя к будущим исследованиям. Владимир с увлечением читал Сборник географических, топографических статистических материалов по Азии, «Начало цивилизации и первобытная культура» (Д. Леббок), «Историю русской этнографии» (А.Н. Лыпин), «Наш Дальний Восток» (Д.И. Шрейдер). Он устроил у себя

террариум, где держал рептилий и земноводных, наблюдая за их жизнью [5]. Слава об этом террариуме распространилась по всему городу, и дети знакомых приходили смотреть разных «гадостей».

10 января 1900 г. Арсеньев подал рапорт, в котором просил о своем переводе в одну из пехотных частей Квантунской армии или Приамурского округа. 1 мая 1900 г. его прошение было удовлетворено. Арсеньев получил звание поручика и был переведен в 1-й Владивостокский крепостной пехотный полк [1].

Владивосток

Мечта Владимира Арсеньева сбылась – он прибыл во Владивосток 5 августа 1900 г.; ему было 28 лет.

Арсеньев быстро освоился с обстановкой в городе и начал знакомиться с его окрестностями. Он часто посещал бухту Тихую в Уссурийском заливе, Русский остров и другие места, обошел все горные вершины вокруг Владивостока, которые в то время были покрыты густыми лесами и кустарниками. Встреча с коренным населением тайги и китайцами, жившими в разбросанных повсюду фанзах, и наблюдения за их жизнью и хозяйственным укладом давали массу впечатлений и материалов, которые впоследствии В.К. Арсеньев изложил в своих научных работах.

В 1900–1904 гг. круг знакомых В.К. Арсеньева увеличился. Он встречался с врачом и этнографом Н.В. Кирилловым, педагогом В.Е. Глуздовским, геологами Анертом и П.И. Полевым и председателем Общества изучения Амурского края Н.М. Соловьевым [1].

16 мая 1903 г. Арсеньев стал действительным членом Общества изучения Амурского края. В библиотеке Общества Арсеньев занимался самообразованием, восполняя пробелы в своих знаниях по истории и естественным наукам; получал навыки некоторых научных наблюдений. С одним из членов общества, ученым-ботаником и краеведом Николаем Пальчевским, у Арсеньева завязалась близкая дружба. Пальчевский стал наставником Арсеньева и участвовал с ним в экспедициях в качестве ботаника.

Первые путешествия. Экспедиции. Книги. Фильмы

Первые экспедиции будущего исследователя были в долину рек Сучан (Партизанская) и Судзухе, от залива Посыета на юге до озера Ханка на севере и от реки Суйфун на западе до залива Святой Ольги на востоке.

Эти путешествия были сопряжены с большими рисками для жизни, среди которых были встречи с хунхузами, дикими зверями и суровыми погодными условиями. Во время своих путешествий Арсеньев тщательно и аккуратно вел подробные, но вместе с тем лаконично точные по изложению дневники, дополняя описания картами и своими рисунками.

За свою не слишком долгую жизнь Владимир Арсеньев не только совершил 18 больших и малых экспедиций и написал около 60 статей и книг, но и много времени уделил просветительской деятельности, читал лекции, организовывал сначала конные экскурсии в окрестностях г. Владивостока, а затем и пешеходные экскурсии по самому городу.

Среди многих известных нам областей интересов Владимира Арсеньева экология в общем-то не числится. Однако это лишь на первый взгляд и только потому, что само понятие появилось достаточно поздно. Но именно экологическим складом мышления обладал Владимир Арсеньев, заставляя думать об

окружающем мире не с точки зрения властелина природы и ее покорителя, а с «зеленого», как сейчас говорят, ракурса.

Воспитанный своим дядей и отцом с любовью и почтением относиться к живой и неживой природе, Арсеньев искренно воспринял философию гольда, сформулированную в словах «он тоже люди».

По утверждению многих биографов Арсеньева, в 1902 г. в истоках реки Лефу (Илистая) произошла судьбоносная встреча путешественника с гольдом Дерсу Узала, сыгравшая исключительно крупную роль в осуществлении почти всех последующих экспедиций Арсеньева.

«Муравьи – люди, «только рубашка другой», и кабаны – люди, и кукушка, и даже саранка... Все окружающее одушевлено» [3], и в этом живом смысле православный христианин Арсеньев с пониманием и уважением отнесся к анимизму Дерсу.

В своих книгах Владимир Арсеньев старался писать не только научным языком, излагая геологические, этнографические, географические, гидрографические, метеорологические, зоологические и ботанические факты, но и вплетал в сухие научные рассуждения описания мест, событий и нравов племен, нотки «живого» языка.

В 1975 г. на экраны вышел знаменитый фильм японского режиссера Акира Курасава «Дерсу Узала» [2], но мало кто знает, что в 1928 г. на экране кинотеатра «Уссури» впервые были показаны два документальных фильма: «Лесные люди» («Удэге») и «По дебрям Уссурийского края» [4]. Эти фильмы снимались при непосредственном участии Арсеньева, и до сих продолжают удивлять бесстрашием своих создателей (режиссера А. Литвинова; оператора П. Мершина и практиканта ГИКа З. Фельдмана), глубиной и красотой показа дикой природы, уникальными съемками «первобытных» людей, своей мудростью и кинематографическим совершенством.

Время над этими фильмами не властно...

В.К. Арсеньев – защитник природы Дальнего Востока

Арсеньев не только певец уссурийской тайги, сумевший своими произведениями передать всю красоту первозданной природы, философию жизни первобытных людей, оторванных от цивилизации, справедливо считая, что у них стоит многому поучиться, но и первый «Эколог Дальнего Востока».

Во всех работах Арсеньева весьма последовательно проводится мысль о защите природы от неразумной деятельности человека. Он всегда выступал против хищнических способов добычи диких животных, за введение охотничьих правил, которых в то время на востоке России не было.

Как известно, первой печатной работой Владимира Арсеньева стал «Отчет о деятельности Владивостокского общества любителей охоты за 5-летие – с 1901 по 1905 г. включительно», изданный во Владивостоке в 1906 г. [5].

Следует отметить, что уже в нем автор проявил себя как охотовед-биолог, придерживающийся вполне экологических взглядов: он обратил особое внимание именно на сохранение диких животных и на возможность воспроизведения охотничьих ресурсов.

Вот небольшой фрагмент заключительной части «Отчета...», содержащий выводы, актуальные даже сейчас: «Ни центральные, ни местные органы Государственных Имуществ не имеют никакой возможности заниматься сохранением лесной и полевой дичи на всем необъятном пространстве нашего отечества, и поэтому они должны всячески поддерживать различные Общества Охоты... Так

как цель всякого Общества составляет не истребление, а размножение и сохранение дичи...».

Арсеньев коснулся и проблемы вымирания редких животных, причем прогнозы поручика Арсеньева были на редкость точными: «В истекшем XIX столетии человеком уничтожено 16 видов различных живых существ. В Японии уничтожены почти все звери и птицы... Неужели и у нас на Дальнем Востоке в XX веке будут уничтожены – тигр, лось, пятнистый олень, фазан, рябчик, дрофа...».

Мысль о необходимости организации заповедников и заказников Владимир Арсеньев высказывал на протяжении всего периода работы на Дальнем Востоке.

Его книга «Сквозь тайгу», изданная в 1930-м, в год его смерти, заканчивалась так: «Относительно рек Анюя и Хора надо сказать, что верховья их требуют особой заботы правительства. На истоки их падает 40–50 % нереста лососевых рыб всего Амурского бассейна. Громадная лесная площадь первобытных лесов от реки Анюя на юго-западе до верховьев Мухена населена множеством зверей. Поэтому она вместе с истоками рек Хора и Анюя должна быть объявлена государственным заповедником вроде Йеллоустонского национального парка».

Проекты Арсеньева не были голословными. Он учитывал даже стратегические моменты: «Проведение железной дороги от г. Хабаровска до Советской Гавани не только не помешает заповеднику, а, наоборот, сделает его доступным для научных и всякого рода просветительских экскурсий... Он явится своего рода неприкосновенным капиталом, на проценты с которого будет жить все охотничье население... Туземное население Анюя может быть привлечено на службу в заповедник... Вопрос об охране этой площади по срочности – “пожарный”».

В 1916 г. при участии Владимира Арсеньева (он входил в состав членов Приморского лесного общества) было решено создать заповедник «Кедровая падь», и только события 1917 г. не позволили этого сделать.

Работая в Управлении рыбными промыслами, Владимир Клавдиевич занимался охраной природных богатств края, в том числе морских котиков. В частности, он доказывал нежелательность сдачи в аренду иностранцам островов Охотского и Берингова морей. В 1923 г., уже после установления Советской власти, Владимир Арсеньев подготовил план работ по охране каланов у мыса Лопатка на Камчатке, и в 1924 г. там был организован заповедник.

Вспоминает Николай Манжолин: «Как далеко смотрел В.К. Арсеньев, и как бы были благодарны ему жители Владивостока, если бы в самом городе сохранился бы нетронутым кусочек первозданной Уссурийской тайги».

В 1928 г. Николай Манжолин являлся начальником минно-артиллерийского городка во Владивостоке. Под него еще в царские времена был огорожен и передан военному ведомству большой таежный участок. Но к 1928 г. стало понятно, что следует переносить отсюда мины и снаряды, поскольку границы города расширялись. Для решения этого вопроса была создана комиссия, в которую вошел и Владимир Арсеньев. Именно он после осмотра территории вдруг сказал: «Будем здесь решать судьбу минного городка» и предложил перенести склады на другую площадь, а на их месте создать городской заповедник.

В своих воспоминаниях Николай Манжолин пишет: «Я от всего сердца поддержал Владимира Клавдиевича... Жаль, но наметки этой комиссии полностью не осуществились».

Тому природному ландшафту, который все-таки сохранился до нашего времени в Мингородке, мы обязаны Владимиру Клавдиевичу Арсеньеву.

Список использованных источников

1. Дом-музей В.К. Арсеньева // Дворцы и Усадьбы. – 2014. – № 154. – 32 с.
 2. В тайгу за «Оскаром». История фильма «Дерсу Узала» // Чудеса Приморья. Журнал о туризме, отдыхе и путешествиях. – Зима, 2020. – С. 44–49.
 3. Арсеньев, В.К. По Уссурийскому краю / В.К. Арсеньев. – Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1986. – 242 с.
 4. «Лесные люди» Александра Литвинова, фильм 1928 года. – URL: <https://aleks070565.livejournal.com/7471792.html?ysclid=l74qjfpqt7690291300>
 5. Арсеньев. Путь на Дальний Восток: детство, война, Приморский край. Часть I. – URL: <https://primamedia.ru/news/1282557/>
-

Информация об авторе

Николаевская Юлия Владимировна, действительный член Приморского краевого отделения Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» – Общество изучения Амурского края. E-mail: julianik777@mail.ru

Section I. THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND V.K. ARSRNYEV

Chapter 1. VLADIMIR K. ARSENIIEV (1872–1930) – A PROTECTOR OF NATURE IN THE FAR EAST

Yuliya V. Nikolaevskaya¹

Abstract. *The chapter contains biographical information about Vladimir Arsenyev: childhood and youth, studies and travels, expeditions and books, his desire to study and protect the nature of the region.*

Keywords: *Arseniev V.K.; biography; science of region; Far East*

Information about authors

Yuliya V. Nikolaevskaya, active member, Primorsky Regional Branch of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society" – Society for the Study of the Amur Territory. E-mail: julianik777@mail.ru

¹ Primorsky Regional Branch of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society" – Society for the Study of the Amur Territory, 4 Peter the Great str., Vladivostok, 690091, Russia

Глава 2. ВЕЛИКИЙ ЭКОЛОГ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ЛИТЕРАТУРА. ЭКОЛОГИЯ ДУШИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

О.Н. Вороной¹

***Аннотация.** История России, наука и литература – три столпа нематериального развития государства. Иногда литература не просто отражала историю и предсказывала будущее, но и меняла жизнь страны. Например, благодаря Чеховской книге «Остров Сахалин» поменялась судебная система России. «Буревестник» Горького наполнил революционные массы страстным желанием бури. А какова сегодняшняя литература? Влияет ли она на развитие страны и мира в целом, том числе с точки зрения экологии?*

***Ключевые слова:** экология; экология сознания; экология души; экологическая катастрофа; экология быта; экологическое образование; игровая экология; цветовая экология; музыкальная экология; экологическая политика; экология жизни; экологическая литература; литературная экология.*

«Экология души», «экология сознания» – эти термины прочно и уже навсегда вошли в нашу жизнь. Вообще без слова «экология» в современном мире немислимы ни описание состояния окружающей среды, ни описание внутреннего мира человека. Насколько это действительно важно сейчас? Насколько это соответствует настоящей жизни? Как экологическая литература может влиять на развитие человечества? Много ли тех, кто пытается нравственность, духовность, культуру и охрану окружающей среды возвести в ранг высокой внутренней и международной политики?

Рассмотрим эти вопросы, полагаясь на самое доступное – средства массовой информации. Что они об этом пишут сегодня? Как определяют «экологию сознания», «экологию души», «экологическую литературу» и «литературную экологию»? Например, Интернет? Введем в поисковую систему ключевое слово «экологическая литература», и нам откроется очень интересная и разнообразная информация.

Оказывается, впервые понятие «литературная экология» появилось в печати в 1993 г. Это время характеризуется началом экологического движения и экологического образования в России. Именно в 1993 г. широко известное определение «краеведение», заменяется новым и гораздо более емким определением – «экология».

В журнале «Общественные науки и современность» Ф. Розинер впервые дает нужное нам определение: «Понятие *литературная экология* – направление литературоведения, рассматривающее проблемы взаимодействия литературного текста и его творца со средой обитания. Применительно к эпохе СССР схема этого взаимодействия выглядит так: советская среда – писатель – произведение – публикация – советская среда. Это означает, что литературное творчество страны Советов по его тесной, нерасторжимой и цикличной связи, своим цивилизационным типом не имеет аналогов в мировой культуре. Вследствие чего изучение советской литературы может быть плодотворным, только если ее спе-

¹ Приморское отделение Всероссийской общественной организации «Союз российских писателей». 692980, Приморский край, Лазовский район, с. Лазо, ул. Ленинская, д. 17.

цифическое свойство – сверхплотная связь с окружением – постоянно будет в центре внимания исследователя, каких бы конкретных проблем он ни касался: язык, поэтика, стиль, форма, структура образов.» [1].

«Сверхплотная связь с окружением» – одно из главных качеств советской и российской литературы.

В материалах Интернета от 17 марта 2012 г. на тему «Литературная экология» есть необычная информация. Опубликованы два видеоролика с выступлениями двух известных писателей. Первый – известный шведский писатель Магнус Флорин. Как житель сельской местности он рассказывает об истории родной земли с точки зрения экологии, и у него все звучит очень убедительно. Второй – известный французский писатель Фредерик Бегбедер. Он рассказывает о поисках смысла существования жителей мегаполиса, и у него с точки зрения экологии тоже получается очень убедительно [2].

История и смысл жизни – основные столпы экологической литературы зарубежья.

Очень интересен материал о работе российских библиотекарей – «В судьбе природы – наша судьба». Рассмотрим публикацию более подробно: «Банальная истина – все начинается с малого. И истоки сегодняшнего бедственного положения природы, грядущей над всем человечеством экологической катастрофы следует искать в начале человеческой жизни – в детстве. Эти слова стали предисловием к литературно-экологической панораме «В судьбе природы наша судьба», которая была подготовлена работниками юношеской библиотеки и городской библиотеки № 1. Гостями стали учащиеся 10-го класса СОШ № 3.

Вместе с библиотекарями ребята совершили экологическую экскурсию по местам чудовищных переплетений бед – экологических, хозяйственных, политических, экономических, когда мир словно бы сползает в бездну и, кажется, нет даже намек на силу, которая бы удержала его на краю пропасти».

Безнравственность и равнодушие отдельного человека порождают безнравственную систему, которая способна только насиловать – человеческие судьбы, души, землю, природу. Интересно, какой видят нашу землю из бездонного мрака представители иных цивилизаций? Жалуют ли они нас или презирают за то, что свою волшебную изумрудно голубую землю мы превратили в клоаку? Слышат ли они ее крик?

И приходит беда. У нее много имен – судьба озера Иссык-Куль и предумышленная душегубка реликтового рыбного стада Волги, уроки Арала и радиационное сияние Беларуси.

26 апреля 1986 г. произошла экологическая катастрофа, которая потрясла мир, – это авария на Чернобыльской атомной станции.

11 марта 2011 г. мир узнал о катастрофе в Японии. Были погибшие и раненые, были облученные и обгоревшие, были без вести пропавшие и потерявшие все. Страшная трагедия – это роковая ошибка человеческого фактора. Так природа наносит страшный удар за недомыслие, за кавалерийские атаки на ее гармонию и вековую мудрость.

Прислушались ли мы к голосу разума, стали ли мудрее, поняли ли, что все мы связаны в единое целое в великом круге жизни, и если его разорвать, то непременно грянет гром...

Извлекли ли мы, люди планеты, уроки из абсолютного поражения в нашем блицкриге против природы? Расхожая фраза «Земля – наш общий дом» стала как никогда емкой и выразительной.

Пронзительно пророчески звучат слова Джона Дона в романе Э. Хемингуэя «По ком звонит колокол»: «Нет человека, который был бы как Остров, сам по себе, каждый человек есть часть Материка, часть суши; и если Волной снесет в море береговой Утес, меньше станет Европа и также если смоем край Мыса или разрушит Замок твой или Друга твоего; смерть каждого Человека умаляет и меня, ибо я един со всем Человечеством, а потому не спрашивай никогда, по ком звонит Колокол: он звонит по Тебе» [3].

Это Хемингуэй. Еще в 1940 (!) году он взывал человечество к разуму. А человечество...? Эх!

Центральное телевидение тоже не осталось в стороне, выпустив очень интересную программу «Экология литературы» из экологического цикла на телеканале «Культура» от 27 ноября 2012 г. [2].

Но это телеканал «Культура». И это уже было давно...

Вообще интересно современное определение экологических тем в литературе. К экологической литературе Интернет относит также и медицинскую литературу: от фармацевтики и вредных привычек до секретов долголетия [4]. Даже (оказывается!) в русских народных сказках встречается экология [5].

И все это на самом деле соответствует определению экологии. Слово «экология» образовано от греческого «ойкос» (дом) и «логос» (знание, наука). Термин «экология» ввел в XIX в., в 1866 г., немецкий биолог Эрнст Геккель. По мнению Геккеля, экология – это наука о динамической совокупности отношений растительных и животных организмов (их сообществ) между собой и окружающей их средой.

В XX в., начиная с 1989 г., термин *экология души* ввела в нашу жизнь «Анастасия» в лице Гузь Ольги Анатольевны. Она считает, что экология души есть чистое знание души: «Истинное Учение о Чистоте Духовного Мышления и Образа Жизни Человека» [6].

Экология сознания – это наука новой эпохи; наука, посвященная тому, как мыслить так, чтобы формировать гармоничную, счастливую жизнь для себя и вокруг себя, ибо наше мышление – основа нашей жизни; что мы думаем, то и материализуется.

А христианские идеи спасения разве не экологичны? А что написано в дореволюционной литературе? У Достоевского, например? Исследователи творчества Ф.М. Достоевского находят его ценным именно с точки зрения экологии. Например, Б.Н. Тарасов очень убедительно доказывает, что творчество Федора Михайловича очень экологично: «Роковой и вековечный вопрос о необходимости понятия бессмертия души для прогресса», – заключает Достоевский в результате раздумий о «тайне человека», как бы соединяя проблемы религии и высокой метафизики с ходом эмпирической истории и конкретной деятельностью человека, выделяя в многомерной реальности христианства одно из его, так сказать, практических приложений. «Представьте себе, – замечал он в одном из писем, – что нет Бога и бессмертия души (бессмертие души и Бог – это все одно, одна и та же идея). Скажите, для чего мне тогда жить хорошо, делать добро, если я умру на земле совсем? Без бессмертия ведь все дело в том, чтоб только достигнуть мой срок, и там хоть все гори. А если так, то почему мне (если я только надеюсь на мою ловкость и ум, чтоб не попасться закону) и не зарезать другого,

не ограбить, не обворовать или почему мне, если уж не резать, так прямо не жить на счет других, в одну свою утробу?»

Например, в статье Ю. Шрейдера «Экология, этика, цивилизация» [12] речь заходит о том, что в атеистическом и рационалистическом варианте развития истории при восприятии природы не как храма, а как мастерской при господстве относительных, а не абсолютных ценностей невозможна плодотворная экологическая политика, поскольку ближайшая материальная выгода («жизнь в свое пузо») всегда перевесит чисто словесные призывы к жертвенному самоограничению и предотвращению безумного расточительства и порчи природы.

Мы приходим к выводу о том, что повлиять на экологическое поведение человека способны только абсолютные материальные запреты, укорененные в христианской идее спасения, когда становятся действенными различие добра и зла и нравственные обязательства по отношению к природе, как к завещанному Творцом достоянию: «Понимание значимости экологических ценностей в контексте финального спасения мира может помочь найти практически эффективную стратегию экологического поведения. Следование этическим и, соответственно, религиозным ориентирам всегда в итоге оказывается практичнее узко-практического поведения» [12].

Есть ли кто-нибудь, более убедительно разъяснивший экологическую суть человека, как это сделал Достоевский?

На наш взгляд, со времен установления советской власти в России огромную роль играла именно патриотическая и политическая художественная литература. Яркими представителями этой литературы являются Горький, Маяковский, Островский, Фадеев, Гайдар, Арсеньев и многие другие. Их мастерству можно и нужно сейчас учиться, и эта литература, по современным понятиям, является экологической, так как именно она определила в то время коммунистическое развитие страны, идейно и духовно ее укрепила.

Но обратимся к великому экологу Арсеньеву. В 1906 г. вышла первая публикация В.К. Арсеньева «Отчет о деятельности Владивостокского Общества любителей охоты за пятилетие с 1901 по 1905 год включительно». Отчет вызвал бурную реакцию общественности, которая не хотела себя признавать хищником [7].

«Текст “Отчета” показывает, насколько ответственно В.К. Арсеньев подходил к вопросам экологии и бережливого использования природных ресурсов. Здесь же впервые «зафиксирован» арсеньевский гуманизм по отношению к животным, красной нитью проходящий через большинство его произведений» [8].

18 марта 1907 г. в газете «Приамурье» была опубликована анонимная заметка «Недозволенная охота», не обоснованно обвиняющая охотничью команду под началом Арсеньева в «способствовании поголовного уничтожения даже полезных зверей» [8].

7 апреля 1907 г. в этой же газете был опубликован ответ Арсеньева по поводу заметки «Недозволенная охота», в котором автор впервые обличает печать в односторонности изложения проблемы хищничества, представляет свою позицию в восприятии бить зверя, если это не вызывается необходимостью, восстает против бесцельной охоты ради забавы и развлечения, высказывает желание о скорейшем введении законов о правильной охоте по всей Сибири [9].

В 1908 г. была опубликована работа В.К. Арсеньева «Наблюдения за лососями Зауссурийского края». В ней автор сообщает свои личные наблюдения и

собранные от инородцев сведения, касающиеся рыб прибрежного района между 45 и 46,5 градусами северной широты [10].

Следующей публикацией Арсеньева стали «Доклады по организации «Юбилейной» экспедиции в 1908–1910 гг. В них Владимир Клавдиевич высказывает пожелание ввести в состав экспедиционного отряда флориста, ихтиолога, натуралиста, геолога, указывая на то, что «при выборе помощников не исключительно гоняться за их специальными знаниями, но обращать большое внимание на их нравственные качества человека» [11].

В «Предварительном кратком колонизационном отчете работы экспедиции Приамурского отдела ИРГО. 1908 год» Арсеньев в главе «Инородцы» с болью пишет о состоянии аборигенов и указывает на пути решения их проблем.

В дальнейшем были опубликованы статьи «О промысловых рыбах Уссурийского края», «Древнейшая история Уссурийского края по легендам китайцев и на основании археологических находок 1903–1907 годов», «Доклады по экспедиции 1911 года», «Река Бира, угольные копи Бирского каменноугольного товарищества и строящаяся Амурская железная дорога», «Сведения об экспедициях капитана Арсеньева В.К. (Путешествия по Уссурийскому краю). 1900–1910 годы», «Отчет Гродековского музея Приамурского отдела ИРГО», «Материалы по изучению древнейшей истории Уссурийского края», «Краткий военно-географический и военно-статистический очерк Уссурийского края. 1901–1911 годы», «Путевые заметки. Три очерка из экспедиции 1912 года», «Доклады по экспедиции 1912–1913 годов», «Вечная памятка для Воли Арсеньева», «Археологические раскопки на дубовой рёлке в 1913 году и памятники старины близ Хабаровска», «Воспоминания о Приамурском генерал-губернаторе Н.И. Гродекове», «Описание лесов в долине реки Немпту», «Вымирание инородцев Амурского края», «Китайцы в Уссурийском крае», «Доклад по организации экспедиции 1914 года», «Доклады по командировке 1915 года», «Список памятников старины в Южно-Уссурийском и Зауссурийском крае», «Отчет отделения археологии, истории и этнографии Приамурского отдела ИРГО за 1915 год», «Краткий физико-географический очерк бассейна реки Амура», «Наши американоиды», «Шаманство у сибирских инородцев и их анимистические воззрения на природу», «Этнографические проблемы на востоке Сибири», «Археология: памятники старины в Уссурийском крае и Маньчжурии», «Сообщения об Уссурийском крае», «Отчет директора Гродековского музея за 1914–1915 год», «Ученическая экспедиция на хребет Хехцир», «Доклады на посту комиссара по делам инородцев Приамурского края», «Китайцы в Уссурийском крае».

Эти работы предшествовали знаменитой книге В.К. Арсеньева «По Уссурийскому краю (Дерсу Узала). Путешествие в горную область Сихотэ-Алинь», вышедшей в 1921 г. и прославившей автора. Весь мир узнал про уникальную Уссурийскую тайгу, про уникальные экологические мировоззрения аборигенов, про уникального писателя-эколога Арсеньева.

Изучая деятельность Арсеньева с точки зрения экологии, вновь и вновь мы приходим к мысли о том, что этот великий исследователь Дальнего Востока России, всемирно известный писатель был еще и великим экологом.

С самых первых своих записей и статей, всей своей деятельностью на военной и гражданской службе Владимир Клавдиевич близко к сердцу принимает состояние не только природы Дальнего Востока, но и состояние души, состояние сознания. Арсеньев – Достоевский Тайги, Достоевский Природы.

Автору посчастливилось быть почетным гостем юбилейного Шукшинского фестиваля. Алтай понравился тем, что люди там такие же, как в Приморье. Может, это сложилось исторически: в России было два основных потока переселенцев – на Алтай и «навстречу солнцу» на Дальний Восток. Очень понравилось, что в центре Барнаула стоит памятник «Переселенцам на Алтай от благодарных потомков». Хорошо было бы и у нас в Приморье поставить такой памятник – «Переселенцам на Дальний Восток от благодарных потомков»! Это было бы так правильно и справедливо!

Все мероприятия фестиваля были народными – любой прохожий мог поучаствовать в празднике. Это действительно народная любовь к творчеству Шукшина. Никто не собирал тысячи участников со всей страны – люди приезжали сами. Это было видно не только по рекламным материалам, но и в школах, и в библиотеках, на улицах и площадях – везде, где проходили мероприятия, участвовали все: и стар и мал. Подумалось, а есть ли у нас историческая величина, подобная Шукшину, чтобы в Приморье появился такой фестиваль? Думаем, есть! Это Владимир Клавдиевич Арсеньев! На Арсеньевский фестиваль тоже собирались бы не только любители природы, экологи, этнографы, историки, археологи, зоологи, рыбаки и охотники, военные и поклонники литературного творчества всемирно известного писателя – собирался бы весь народ. И место подходящее есть для такого мероприятия – остров Русский. На одной из вершин острова поставить бы настоящий большой памятник великому экологу Владимиру Клавдиевичу Арсеньеву. Тысячи людей со всего мира собирались бы ежегодно 10 сентября вокруг этого памятника на *русской земле* в окружении *русской красоты*.

Занимаясь с конца 80-х гг. экологическими проектами, автор принимал непосредственное участие в развитии экологической политики, которая с каждым годом все больше и больше влияет на жизнь не только жителей России, но и жителей всех стран. Понятие «экология» уже давно утратило свое изначальное определение как наука о состоянии окружающей среды. Сейчас под словом «экология» все просто понимают состояние и окружающей среды, и внутреннего мира человека. Так же и в литературе: вся патриотическая и политическая художественная литература, определяющая развитие страны, укрепляющая ее идейно и духовно, становится экологической литературой, т.е. вся высоконравственная, духовная, патриотическая литература – это просто литература экологическая. Это та литература, которая спасает и развивает нашу страну сегодня.

Автору приходилось слышать стихи Пушкина, Гумилёва, Есенина, Маяковского, Рубцова, Рождественского и даже Шекспира и Хайяма в самых далеких таежных зимовьях от колоритных охотников и лесорубов. Совершенное чудо – слышать от таежного люда лучшие образцы мировой поэзии. И это чудо лучшим образом показывает то, что человек жив, что жива его человеческая душа, несмотря на перестройки, реформы, катаклизмы, войны. Не таких ли «чудиков» искал Шукшин в качестве своих героев? Не от таких ли «чудиков» идет самое мудрое, народное и правильное?

В нашей стране таких мудрецов всегда хватало, но кто их слушает? Вспомним того же Солженицина и его «Письмо вождям Советского Союза» за 1974 г., в котором он точно предсказывал развал СССР и пытался этого не допустить; пытался спасти страну и систему, которые лично его жестоко наказывали!? Или его предсказание краха Украины еще в 1995 г. А это тоже экологическая литера-

тура, и лучшие образцы экологической литературы представляют все наши классики: и поэты и писатели.

Экологическая литература подразумевает «экологию души», «экологию сознания», «экологию быта», «экологию политики», «экологию жизни». Занимаясь в «лихие 90-е» экологическим образованием и просвещением населения, экологи стали применять такие термины, как «игровая экология», «цветовая экология», «музыкальная экология», «литературная экология». Игровая экология – это обучение и воспитание с помощью игр. Цветовая экология – это обучение и воспитание с помощью изобразительного искусства. Музыкальная экология – это обучение и воспитание с помощью лучшей музыки и лучших песен. Литературная экология – это обучение и воспитание с помощью сказок, рассказов, повестей, стихотворений. Очень часто эти разные «экологии» соединялись и сочетались, были вместе на одной программе или на одном уроке.

Сверхплотная связь русской литературы с окружением, всемирная история и смысл жизни человека, звон Колокола Хемингуэя, русские народные сказки, экология души и экология сознания, христианские идеи, экологичность творчества Достоевского, экологичность творчества Арсеньева, история России.

Пришло время вспомнить и возродить все лучшее, ценное, красивое, здоровое и полезное. Именно экологическая литература этому способствует и этому помогает. Наша задача – помогать литературной экологии.

Список использованных источников

1. Розинер, Ф. Литературная экология / Ф. Розинер // Общественные науки и современность. – 1993. – № 2. – С. 140–146.
2. Экология литературы. ВКонтakte. – URL: <https://vk.com/club36675707>.
3. URL: <http://www.adm-akhtubinsk.ru/index.php/socsfera/kultura/722-2011-04-29-17-56-40.html>
4. Иванов, В.П. Общая и медицинская экология: учебник для студентов медицинских вузов / В.П. Иванов, О.В. Васильева, Н.В. Иванова; под общей редакцией В.П. Иванова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 508 с.
5. Эколого-литературная викторина «Экология в русских народных сказках». – URL: <http://www.myshared.ru/slide/846648/>
6. Официальный сайт Гузь Ольги Анатольевны. – URL: <http://www.anastasia-is-me.ru/home/old/n26.htm>
7. Арсеньев, В.К. Отчет о деятельности Владивостокского Общества любителей охоты, состоящего под покровительством его Императорского Высочества великого князя Александра Михайловича за пятилетие с 1901 по 1905 год включительно / В.К. Арсеньев. – Владивосток, 1906.
8. Арсеньев, В.К. Полное собрание сочинений в шести томах. Том 111. Книга 1. Научно-практические публикации, отчеты, доклады. 1906–1917 гг. Рубеж / В.К. Арсеньев. – Владивосток, 2020. – С. 8.
9. Хроника: Недозволенная охота // Приамурье. Хабаровск. – 1907. – № 218. – С. 4.
10. Арсеньев, В.К. По поводу заметки «Недозволенная охота» / В.К. Арсеньев // Приамурье. Хабаровск. – 1907. – № 235. – С. 5.
11. Арсеньев, В.К. Наблюдения за лососевыми Зауссурийского края / В.К. Арсеньев // Ежегодник Зоологического музея Императорской Академии наук. – Санкт-Петербург, 1908. – Т. X111. Мелкие известия. – С. LX–LX111.

12. Шрейдер, Ю. Экология, этика, цивилизация / Ю. Шрейдер // Новый мир. – 1994. – № 11.

Информация об авторе

Вороной Олег Николаевич, председатель Приморского отделения Всероссийской общественной организации «Союз российских писателей». E-mail: ovoronoy@mail.ru

Section I. THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND V.K. ARSRNYEV

Chapter 2. GREAT ECOLOGIST. ECOLOGICAL FICTION. ECOLOGY OF THE HUMAN SOUL

Oleg N. Voronoy¹

Abstract. *History of Russia, science, and literature. Three pillars of non-material development of the state. Sometimes literature not only reflected history and predicted the future, but even changed the life of the country. How, for example, thanks to Chekhov's book Sakhalin Island, the judicial system of Russia has changed. And Gorky's Petrel filled the revolutionary masses with a passionate desire for a storm. And what is today's literature? Does it affect the development of the country and the world as a whole? Including from an environmental point of view? I tried to answer these questions by analyzing some public materials and my observations.*

Keywords: *ecology; ecology of consciousness; ecology of the soul; ecological catastrophe; ecology of life; environmental education; game ecology; color ecology; musical ecology; environmental policy; ecology of life; ecological literature; literary ecology.*

Information about authors

Oleg N. Voronoy, Chairman, Primorsky branch of the All-Russian public organization "Union of Russian Writers". E-mail: ovoronoy@mail.ru

¹ Primorsky branch of the All-Russian public organization "Union of Russian Writers", 17 Leninskaya str., Lazo village, Lazovsky district, 692980, Russia

Глава 3. ИЗУЧЕНИЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ В.К. АРСЕНЬЕВА НА УРОКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КАК ЧАСТЬ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ

М.Д. Сигнаевская¹

Аннотация. Раскрыты возможности использования на занятиях по внеурочной деятельности произведений В.К. Арсеньева для патриотического воспитания школьников.

Ключевые слова: Арсеньев; литература; педагогика; патриотизм; малая родина; методы преподавания.

Мы должны строить свое будущее на прочном фундаменте, и такой фундамент – это патриотизм.

В.В. Путин

Патриотическое воспитание молодежи – одно из основных направлений современной внутренней политики России. Как сказал наш Президент В.В. Путин, «...любовь к Родине – одна из ключевых основ российской государственности и важнейшая ценность для нашего общества, которая неизменно проявляется в решающие для страны моменты» [1].

В последнее время был проведен ряд структурных изменений в системе образования, направленных на формирование системы по патриотическому воспитанию, которое стало одним из приоритетных направлений современной образовательной политики. «Проблема патриотического воспитания и гражданского становления подрастающего поколения сегодня – одна из актуальных задач государства, общества и образовательных учреждений нашей страны» [2]. Все это определяет важность такого направления работы с детьми, как воспитание патриотизма у школьников.

Что такое патриотизм? Патриотизм – это социальное чувство, заключающееся в любви к своей родине, в готовности ставить интересы Отечества выше своих собственных. Патриотизм проявляется в жертвенности ради родины, готовности защищать ее интересы, стремлении работать на ее благо, в гордости за победы и достижения своей страны. Патриот идентифицирует себя как часть народа, испытывает чувство принадлежности к своей стране, традициям, языку.

Патриотизм не возникает просто так, его надо воспитывать. Надо с детства воспитывать ответственное отношение к своей стране, учить любить и уважать родину, ценить ее особенности. «К патриотизму нельзя только призывать, его нужно заботливо воспитывать – воспитывать любовь к родным местам, воспитывать духовную оседлость» [3]. В связи с этим актуальное значение приобрела проблема патриотического воспитания школьников. Под патриотическим воспитанием понимается «воспитание важнейших духовно-нравственных и культурно-исторических ценностей, отражающих специфику формирования и развития

¹ Детско-молодежная общественная организация «Вектор А», 692847, Приморский край, Шкотовский район, с. Анисимовка.

нашего общества и государства, национального самосознания, образа жизни, миропонимания и судьбы россиян» [4]. Это формирование нравственного фундамента, состоящего из системы нравственных ценностей, направленных на воспитание молодого поколения как достойных граждан, любящих и ценящих свою родину. Такой фундамент, ценности и идеалы начинают формироваться с детского возраста; именно в детстве происходит формирование духовной основы человека, поэтому патриотическое воспитание граждан должно начинаться со школы. Таким образом, перед школой стоит задача воспитания ответственного, любящего свою родину гражданина, отождествляющего свою судьбу с судьбой страны, готового поступиться своими интересами во благо Отечества.

Формирование личности происходит в детстве; зависит от социума и окружающей среды. И поскольку компонентами патриотизма являются: чувство гордости за свою страну и малую родину, уважительное отношение к истории страны, к обычаям и традициям народа, патриотическое воспитание надо начинать с того, чтобы научить ребенка любить свою малую родину. Любить свой дом, местность, где вырос, ее природно-географические особенности, историю, культуру, традиции и особенности. Как писал Д.А. Гусев, «Патриотизм – это любовь к родному краю и Родине, ее природным богатствам, культуре, людям и дому» [5]. Д.С. Лихачёв также писал о неразрывной связи между патриотизмом и любовью к своей малой родине, о том, что любовь к Отчизне вытекает из любви к своему краю – своей малой родине: «Любовь к Родине начинается с любви к своей семье, к своему дому, к своей школе. Она постепенно растет. С возрастом она становится также любовью к своему городу, к своему селу, к родной природе, к своим землякам, а созрев, становится сознательной и крепкой, до самой смерти, любовью к своей стране и ее народу» [6]. Таким образом, изучение ребенком его родного региона является основой для патриотического воспитания, формирования любви к своей стране через воспитание любви к своей малой родине.

Как же воспитать любовь к малой родине в школе? Должен быть комплексный подход к такому воспитанию, и одним из основных элементов здесь является построение внеурочных занятий, направленных на изучение родного региона, его особенностей, героев. Данные занятия должны открывать перед школьниками новый взгляд на родной регион, выделять героев и достижения, которыми будут гордиться дети, говоря о своей малой родине. Великий педагог В.А. Сухомлинский в своем труде «Как воспитать настоящего человека» писал: «Рассказы о героях учат детей видеть мир глазами патриотов. Героическое не только расширяет горизонт, но и помогает почувствовать, что в жизни всех советских граждан – и тех, кто ушел из жизни, и тех, кто живет ныне, есть что-то общее, великое, священное, самое дорогое и ни с чем не сравнимое – Родина» [7].

В Приморском крае героем является Владимир Клавдиевич Арсеньев – русский путешественник, первопроходец, посветивший свою жизнь исследованию Приморского края. Он внес огромный вклад в географию, историю, этнографию и литературу; проводил географические исследования Дальнего Востока, являясь членом Русского географического общества, осуществил ряд экспедиций по Уссурийскому краю, пройдя сложные горные районы Сихотэ-Алиня. Собранные им коллекции по орочам, нанайцам и удэгейцам, являющиеся важной этнографической, и археологической ценностью, представлены в различных музеях страны.

В.К. Арсеньевым гордятся жители Приморского края, называя его «капитаном тайги». В честь него назван город в Приморском крае; его имя носят

природные объекты (гора, река, ледник), улицы и переулки в населенных пунктах Дальневосточного региона. Ему поставлены памятники в крае, открыт музей. Любовь и уважение к исследователю подтверждает и тот факт, что в 2018 г. по результатам общенационального конкурса «Великие имена России» – его именем был назван международный аэропорт в г. Владивостоке [8].

В.К. Арсеньев оставил огромное литературное наследие – книги, описывающие его экспедиции по Дальнему Востоку. Его произведения – «По Уссурийскому краю», «Дерсу Узала», «Сквозь тайгу», «В горах Сихотэ-Алиня» – несут в себе не только художественную и научную ценность, но и являются своего рода фундаментом для построения занятий внеурочной деятельности, направленных на патриотическое воспитание школьников Приморского края. Материал в литературной форме оптимален при воспитании ребенка. Он легче воспринимается, не дает потерять вовлеченность в процессе обучения, оказывает нравственно-эмоциональное воздействие на обучающегося. Как писала Л.В. Анисимова, «Литературе принадлежит ведущее место в эмоциональном, интеллектуальном и эстетическом развитии школьника, в формировании его миропонимания и национального самосознания, без чего невозможно духовное развитие нации в целом» [9]. Произведения В.К. Арсеньева не только познавательны, но и увлекательны в прочтении. «Такая совокупность художественной прозы с научными выкладками в ней – прекрасный материал для изучения края, вовлечения школьников в образовательный процесс. При этом автобиографичность его научно-приключенческих книг позволила ему оказаться в двух ролях – автора и героя книги. Того героя, которому хотят подражать увлеченные маленькие читатели, о чем было сказано ранее. Поэтому именно произведения В. Арсеньева необходимо брать за основу при построении уроков дополнительного образования» [10].

Важную роль в процессе обучения при патриотическом воспитании также необходимо уделять природным объектам. В педагогике всегда большое значение придавалось взаимодействию с природой в процессе обучения, так как природа окружает нас с ранних лет, она является важной частью жизни и взросления ребенка, познания им окружающего мира. Советские педагоги писали о необходимости включения книг о природе в процесс обучения детей для расширения кругозора, вовлечения в образовательный процесс через «новые открытия». Таким образом, изучение произведений В. Арсеньева на уроках дополнительного образования позволяет сформировать глубокий и комплексный подход к патриотическому воспитанию школьников.

В процессе воспитания любви к Родине необходимо оказывать воздействие на эмоциональную область ребенка. Это увеличивает влияние на формирование вовлеченности и заинтересованности ребенка к получаемому материалу. В связи с этим в процесс воспитания нужно включать работу с объектами, которые представляют и характеризуют регион, а именно: архитектурные сооружения, природные объекты и др. Благодаря этому организуется взаимодействие на физическом уровне с данными объектами, с теоретическим сопровождением (рассказы об объекте, его история и т.д.). Изучение родного края, его истории с подкреплением визуальными примерами позволяет убрать чувство обыденности, следовательно, становится для детей мощным стимулом уйти от позиции потребителя. Как писал В.А. Сухомлинский, «Детство – это каждодневное открытие мира, и поэтому воспитание должно быть построено так, чтобы в этом было познание человека и Родины, величия, красоты и глубины окружающего» [11].

Открытия оказывают позитивное влияние на ребенка, порождая у него чувства гордости, уважения и восхищения.

Таким образом, на занятиях по внеурочной деятельности воспитание любви к малой родине должно начинаться с изучения литературы о родном крае, с дальнейшей визуализацией прочитанного – своего рода «перенос» литературного мира на реальность. Это позволит школьнику следовать за своими героями из книг, пройти «по их следам», пронести через себя их мотивы и убеждения.

В современном мире воспитание детей предполагает собой поиск нестандартных форм обучения, для того чтобы ученик смог проникнуться на эмоциональном уровне изучаемой темой, чтобы воспитатель смог оказать глубокое воздействие на ребенка, помог ему сформировать нравственно-ценностный «скелет» его личности.

При построении занятий по внеурочной деятельности, направленных на воспитание любви к малой родине, предлагаем брать за основу произведения В.К. Арсеньева «По Уссурийскому краю» и «Дерсу Узала» и реализовывать уроки в формате мероприятий или киноклуба.

Формат «Киноклуб». Сейчас, в эпоху визуалов, кино стало важным и эффективным инструментом для педагога. Киноискусство позволяет сформировать нравственные идеалы, развить у детей чувство гражданской ответственности и патриотизма. Киноискусство обладает сильным педагогическим потенциалом в плане формирования и дальнейшего развития у учащихся духовно-нравственных качеств,

Произведения В. Арсеньева не раз экранизировали. Есть и художественные и документальные фильмы о В. Арсеньеве. По его книге «Дерсу Узала» было снято два художественных фильма, а фильм режиссера Акиры Кurosавы был удостоен премии «Оскар». Это прекрасная база для построения внеурочного занятия в формате киноклуба.

Просмотр видеофильма должен быть частью программы занятия, должен закрепляться обсуждением увиденного или выполнением творческой работы по итогам просмотра. Следует организовывать просмотр фильма частями, с небольшими по итогам просмотра дискуссиями, ориентированными на развитие у учащихся способности размышлять и выражать свою точку зрения в устной или письменной форме.

Самостоятельная работа учащихся должна выполняться в соответствии с заданием учителя и заключаться в анализе просмотренного на занятии фрагмента фильма (выделение основных черт героя, наблюдение за его поведением, сопоставление образов героев и т.д.).

По итогам работы над фильмом учитель может организовать занятие-обсуждение – своего рода заседание «Киноклуба». Кинематограф «оживляет» произведение, а следовательно, позволяет учащемуся «прочувствовать» и всесторонне исследовать его через призму реалистичности. Поэтому итоговое обсуждение фильма позволит педагогу-воспитателю направить в нужное русло полученный учеником поток эмоций и чувств, нацелив их на формирование нравственно-ценностного каркаса его личности. На обсуждении кинофильма необходимо поднять вопросы, направленные на осознание детьми важности ответственного отношения к своей стране, любви к своей Родине. Это вопросы, направленные на изучение причин участия В. Арсеньева в экспедициях, обоснований его готовности идти навстречу опасностям и невзгодам, с которыми он

сталкивался во время исследования Приморского края. Необходимо задать вопрос учащимся об их отношении к данной личности, а также об их готовности к подвигам ради Родины. Стоит также внимательно рассмотреть второго героя произведения – Дерсу Узала. Основное внимание должно быть обращено на его неразрывную связь с природой и обычаями. Работа на контрасте этих двух героев также будет плодотворна при воспитании у детей любви к своей малой родине. Все это позволит учащимся размышлять о ценностях, нормах нравственности, о роли гражданина в жизни страны, о его долге перед родиной. Следование таким героям является мощным стимулом для детей становиться патриотично настроенными гражданами, вдохновленными увиденным. Это служит сильным толчком для самоопределения ребенка в социуме, для его внутреннего роста.

Учащиеся сами должны дать ответы на поставленные вопросы. Это позволит определить их уровень нравственного воспитания, понять какие ценности уже начали формироваться у них. Далее следует тонко работать над их корректировкой, направляя учащихся на правильный путь, подталкивая их во время дискуссии к тому, чтобы они сами пришли к правильному выводу.

Таким образом, использование кинофильмов о В. Арсеньеве (документальных или по его произведениям) на занятиях по внеурочной деятельности позволит расширить знания у учащихся о Приморском крае, повысить их интерес к родному краю, а также будет способствовать формированию у учеников умения анализировать и глубоко мыслить. Использование киноматериала позволит учащимся прожить ситуацию с экранным героем, прочувствовать и понять его мотивы, сформирует по итогам анализа важные аспекты патриотизма.

Формат «Мероприятия». При построении программы занятий по внеурочной деятельности в формате мероприятий рекомендуется использовать комплексный подход: уроки должны содержать в себе теоретическую, аналитическую и практическую части. Это даст возможность всесторонне подойти к изучению материала и позволит школьникам эмоционально проникнуться патриотическим настроем героя, его любовью к их малой родине.

Сначала необходимо изучить и проанализировать выбранное произведение. Желательно выбрать ту книгу В. Арсеньева, в которой описывается его экспедиция по территории Приморского края, наиболее близкой территориально к месту проведения занятий. Так можно будет провести практическую часть, опираясь на принцип «от малого к большому». Прочитав книгу или отрывок, школьник должен проанализировать с научной точки зрения маршрут, который планируется к воссозданию: изучить описанный маршрут с использованием картографического материала, ознакомиться с энциклопедическим материалом при изучении описанных биологических видов, провести активный поиск информации о происхождении используемых в произведении топонимов, изучить этнографическую информацию о быте и истории коренных народов Приморья. Проанализировать информацию с исторической точки зрения – подробнее рассмотреть, какие события происходили в период данной экспедиции, какой исторический период приходился на ее время. «Большинство современных детей не увлечены историей родного края. Информация, не насыщенная событиями масштабного характера, не увлекает их в связи с юношеским максимализмом. Поэтому надо преподнести исторический материал, заинтересовав учащихся захватывающим событием. Самое интересное в рассказанной истории – это конфликт. Поэтому при изучении истории Приморского края стоит обратить внимание на описанные В. Арсеньевым встречи с хунзами и браконьерами. Так, при чтении истории,

рассказанная автором, воспринимается с интересом, и, как результат, ученик легко погружается в процесс изучения истории родного края» [10].

Проведя всестороннее изучение книги (отрывка) и дополнительного материала, необходимо перейти к практическим занятиям. Суть таких занятий заключается в воссоздании описанной в книге экспедиции, точнее, ее части – прохождение по части маршрута, который пролегал по близлежащей территории. Таким образом происходит закрепление пройденного материала на практике, происходит переход из мира литературы в реальный мир. И школьник уже с позиции наблюдателя переходит в статус исследователя, становясь героем уже своей собственной приключенческой истории изучения края.

Практические занятия можно проводить в формате игр, квестов, тематических реконструкций (экспедиций по маршрутам Арсеньева с «погружением в эпоху» и без него). Все форматы направлены на воссоздание части экспедиции В. Арсеньева по изучению Приморского края. Используя данные форматы, учитель погружает учащихся в мир произведений Арсеньева, оживляет их, перенося маршрут со страниц книги в реальность. Следовательно, учащийся как бы становится на место В.К. Арсеньева, проживает его историю, проникается его эмоциями, чувствами и духом исследователя. Такой процесс порождает вовлеченность школьника в образовательный процесс.

Полученный эффект от пройденных занятий необходимо закреплять. В данном случае это предлагается сделать путем проведения аналитической части программы, проведения сравнительного анализа «тогда-сейчас». Произведения В. Арсеньева – это кладезь многогранного научного материала, включающего в себя информацию этнографического, географического, биологического и исторического характера. В связи с этим итоговая аналитика станет прекрасным завершением изучения произведений В. Арсеньева и ознакомления учащихся с их малой родиной – Приморским краем. По итогам экспедиции учащиеся составляют сравнительную таблицу, в которой отображают произошедшие за годы изменения по маршруту (в биосфере, антропосфере и т.д.). Для сравнительного анализа берутся две даты – дата экспедиции В. Арсеньева и дата экспедиции учащихся. В таблице рекомендуется сделать интерактивную карту произошедших изменений. Это позволит визуализировать их в разрезе времени. Видя скоротечность бытия, учащиеся сделают для себя открытия нравственно-философского характера, осознают важность тех вещей, событий, которые ранее они воспринимали как данность.

Заключение

Полученная информация сформирует у школьников Приморского края знания о своем регионе: о его истории, культуре, биоразнообразии и особенностях. Все это позволит воспитать у них любовь к своей малой родине, уважение к ней, сформировать представления об ответственности и долге. Таким образом, внеурочные занятия станут эффективным инструментом патриотического воспитания школьников.

Изучение произведений В.К. Арсеньева на занятиях по внеурочной деятельности позволит сформировать у ребенка ответственное отношение к своему краю через его исследование и изучение, что в дальнейшем перерастет в эмоциональную привязанность и любовь к малой родине, а в дальнейшем и к своей Отчизне.

Список использованных источников

1. Путин, В.В. Выступление на встрече с членами Совета законодателей // Президент РФ. – Москва, 2022. – URL: <http://kremlin.ru/events/-president/news/68297>
2. Бабенко, М.А. Киноискусство как средство патриотического воспитания младшего школьника / М.А. Бабенко // Электронный журнал Экстернат.РФ. – 2019. – URL: http://ext.spb.ru/2011-03-29-09-03-14/144-preschool-edu/13120-Kinoiskusstvo_kak_sredstvo_patrioticheskogo_vospitaniya_mladshego_shkolnika
3. Лихачев Д.С. Письма о добром и прекрасном / сост., общ. ред. Г.А. Дубровской (2-е изд., доп. – Москва, 1988; 3-е изд. – Москва, 1989). – Москва: Дет. лит., 1985. – 207 с. // Сайт «Площадь Д.С. Лихачева». – URL: https://www.lihachev.ru/pic/site/files/fulltext/pis_o_dob_i_prek.pdf.
4. Путятин, С.Н. Сущность и структура военно-патриотического воспитания школьников / С.Н. Путятин // Евразийский научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 193–196.
5. Гусев, Д.А. Малая родина в патриотическом воспитании дошкольников / Д.А. Гусев, К.В. Васильева // Молодой ученый. – 2014. – № 21.1 (80.1). – С. 170–173.
6. Лихачев, Д.С. Избранное. Мысли о жизни, истории, культуре / Д.С. Лихачев. – Москва: Российский Фонд культуры, – 2006. – 336 с.
7. Сухомлинский, В.А. Как воспитать настоящего человека: Этика коммунистического воспитания. Педагогическое наследие / сост. О.В. Сухомлинская. – Москва: Педагогика, 1990. – 228 с. // Педагогическая библиотека – URL: https://pedlib.ru/Books/5/0138/5_0138-307.shtml
8. Указ Президента Российской Федерации от 28 ноября 2018 г. № 681 «О присвоении отдельным географическим объектам имен лиц, имеющих особые заслуги перед Отечеством» // Президент РФ. – Москва, 2022. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44289>
9. Анисимова, Л.В. Система активизации нравственного развития школьников на основе УМК по литературе «Вокруг тебя мир». 6-й класс / Л.В. Анисимова // Открытый урок 1 сентября. – URL: <https://urok.1sept.ru/статьи/620248/>
10. Воспитание любви к Малой Родине через изучение произведений В.К. Арсеньева на уроках дополнительного образования // Записки Общества изучения Амурского края. – Владивосток: 3-32 ПКО ВОО «РГО» – ОИАК; Изд-во ВГУЭС, 2021. – Т. XLVII. – 252 с.
11. Сухомлинский В.А. О воспитании / В.А. Сухомлинский. – Москва: Политическая литература, 1982. – 270 с. – URL: <http://pedagogic.ru/books/item/f00/s00/z00000009/st002.shtml>

Информация об авторе

Сигнаевская Марионэлла Дмитриевна, руководитель Детско-молодежной общественной организации «Вектор А». E-mail: lupusmario@mail.ru

Section I. THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND V.K. ARSRNYEV

Chapter 3. THE STUDY OF THE WORKS OF V.K. ARSENYEV IN EXTRACURRICULAR ACTIVITIES AS PART OF THE PATRIOTIC EDUCATION OF SCHOOLCHILDREN

Marionella D. Signalevskaya¹

Abstract. *In the chapter, the author reveals the possibilities of using the works of V.K. Arsenyev for patriotic education of schoolchildren in extracurricular activities.*

Keywords: *Arsenyev; literature; pedagogy; patriotism; small homeland; teaching methods.*

Information about authors

Marionella D. Signaevskaya, leader, Children and youth public organization "Vector A".
E-mail: lupusmario@mail.ru

¹ Children's and youth public organization "Vector A", Anisimovka village, Shkotovsky district, 692847, Russia

Глава 4. ПОВЕРЖЕННЫЕ ВЕЛИКАНЫ: МЕДВЕЖЬИ ЩЁКИ – ГЛАВНАЯ ПРИРОДНАЯ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЬ ПРИМОРЬЯ XIX ВЕКА

Ю.Ю. Уфимцев¹

Аннотация. Описывается главная географическая достопримечательность Приморья, «которая по дикой красоте сравнивается с лучшими местами Кавказа», – Медвежьи Щёки под Уссурийском.

Ключевые слова: Медвежьи Щёки; Южно-Уссурийский край; Дерсу Узала

«В 1910 году, зимой, я вернулся в Хабаровск и тотчас поехал на станцию Корфовскую, чтобы навестить дорогую могилу. Я не узнал места – все изменилось: около станции возник целый поселок, в пригорьях Хехцира отрыли ломки гранита, начались порубки леса, заготовка шпал. Мы с И.А. Дзюль несколько раз принимались искать могилу Дерсу, но напрасно... Приметные кедры исчезли, появились новые дороги, насыпи, выемки, все кругом носило следы цивилизации... Цивилизация рождает преступников. Создай свое благополучие за счет другого – вот лозунг двадцатого века», – так заключил свое произведение «Дерсу Узала» великий певец уссурийской тайги Владимир Арсеньев [1], великий гуманист и защитник природы – природы, которую необходимо защищать, ибо, если этого не делать, она исчезнет. Так, например, исчезла самая известная в царской России природная достопримечательность Приморья (тогда Южно-Уссурийского края) – Медвежьи Щёки.

Медвежьи Щёки под Уссурийском – два великана, «надменно вздувающие свои мощные груди, словно они хотят броситься друг на друга, сразиться и насмерть» [3], и некогда входившие во все справочники дальневосточной России, но уже к началу XX в. поверженные человеческими карликами.

Ни один известный путешественник и писатель XIX века не проходил мимо их описания в своих работах, а каждый культурный россиянин знал о них из ведущей энциклопедии того времени – Энциклопедии Брокгауза и Ефрона:

«Медвежьи щёки – отвесные утесы Приморской обл., Южно-Уссурийского края, по р. Суйфуну (Раздольная. – *Прим. авт.*), верст 15 ниже с. Никольского (Уссурийск. – *Прим. авт.*). Здесь Суйфун прорывает хребет Сихотэ-Алинь. Местность замечательна многократным повторением эха. М. щёки сжимают долину рек с обеих сторон на протяжении около версты. В расселинах скал, говорят, медведи часто устраивают себе зимние логовища» [2].

Информация в главной энциклопедии России была взята из записок путешественника Николая Михайловича Пржевальского, так описывавшего Медвежьи щеки в 1867 г.: «Узкая долина, сопровождающая среднее течение этой реки, верстах в пятнадцати ниже деревни Никольской вдруг сжимается отвесными утесами, которые тянутся на протяжении около версты и известны под именем Медвежьих Щёк. Такое название присвоено им, как говорят, потому что в расселинах этих скал медведи часто устраивают себе зимние логовища. Сам я могу

¹ Деловой еженедельник «Конкурент», 690106, Приморский край, г. Владивосток, пр-т Красного Знамени, д. 10, офис 301.

только засвидетельствовать, что это место очень живописно и замечательно многократным повторением эха, так что ружейный выстрел долго гремит различными перекатами» [3].

Путешествовавший по Южно-Уссурийскому краю в 1891–1893 гг. сотрудник газеты «Русские ведомости» Давид Шрейдер так же не смог пройти мимо их описания [4]: «А вот сквозь лесную просеку сверкнул и Суйфун. Лениво катит он из соседней Маньчжурии свои прозрачные воды, отражая солнечные лучи в хрустальной поверхности. Зеркальной лентой извивается он там и сям и то исчезает с наших глаз, теряясь в море ветвей и деревьев, скрываясь за пригорками и поросшими лесом холмами, то вновь неожиданно появляется перед нами. Как и все реки Уссурийского края, он отличается необычной и неизвестной в Европе кривизной, – кривунами, осьмерами, утюгами, как называют здесь извилистые донельзя реки. Между двумя пунктами, лежащими на расстоянии одной версты друг от друга, Суйфун пробирается такими причудливыми, капризными зигзагами, что подчас приходится проплыть на нем больше семи-восьми верст, пока доберешься до конечного пункта, находящегося тут же под боком. Чем больше углубляемся мы внутрь Суйфунской долины, тем чаще встречаются на нашем пути нагроможденные друг на друга горные хребты и твердыни. Любитель природы и ее красот должен сосредоточить здесь все свое внимание на окрестных видах. Мы приближаемся к знаменитым Суйфунским или Медвежьим Щёкам, которые по дикой красоте сравниваются с лучшими местами Кавказа. Уже в нескольких верстах до этих Щёк отдельные холмы и твердыни, встречающиеся нам там и сям по дороге, начинают превращаться в сплошные горные цепи, то тесно прижимающиеся к Суйфуну, то отступающие в сторону от этой хотя и не широкой, но полноводной реки. Местами эти титанические, непокорные громады словно сталкиваются вверху с легкими облаками, застилая небо от наших глаз, местами они отступают в сторону и открывают взору узкие ущелья, или просторные долины и лощины, широкие луга, покрытые роскошным ковром полевых цветов, достигающих здесь огромных размеров. Но вот горные цепи начинают все более приближаться друг к другу. Мы подъехали ближе, поднялись на самый край утесистого берега Суйфуна, вертикально спускающийся с высоты многих сажень к воде, сделали крутой поворот и – замерли от восхищения. Внизу у подошвы откоса бурлила река. Сверху над нею нависли косматые гривы двух гигантских горных кряжей. Обе горные цепи угрюмо стоят друг против друга, как два заклятых врага, враждебно сближаясь у своих каменистых подножий, надменно вздувая свои мощные груди, словно они хотят броситься друг на друга, сразиться и на смерть разбиться... Вот, кажется, уже совсем сблизились оба кряжа. Их косматые гривы уже почти касаются одна другой; еще немного и они бы столкнулись, разбились... Но Суйфун, лазурная река таинственного Бохая, извиваясь между мощными громадами, мечется из стороны в сторону, взбивает жемчужную пену, стонет и заливается, словно воет и умоляет их прекратить вековую вражду; он лижет подножия то у одной, то у другой гигантской твердыни. Словно стремится разъединить их и не допустить до смертельного боя, – и горные кряжи, нахмутив свои исполинские головы, уступают мольбам исстрадавшейся и задыхающейся в смертельном страхе реки и, гордо подняв свои могучие головы-вершины, мирно расходятся: одна – к югу, другая – к северу. Но, удаляясь, они все еще злобно оглядываются друг на друга и в то же время сосредоточенно кивают своими косматыми гривами Суйфуну. А он, сияющий, радостный, снова наряд-

ный и ярко сверкающий, тихо журча, быстро удаляется дальше в долину, разнося повсюду весть о примирении исполинских твердынь. Хороши «Суйфунские Щёки»! Это один из самых живописных и красивых уголков Уссурийского края. В последнее время он много потерял своей прежней таинственной прелести и не производит уже на зрителя такого впечатления дикости и неприступности, как прежде... Для проведения полотна железной дороги пришлось срезать край левого горного кряжа и устроить здесь над самым Суйфуном обширную террасу для пропуска железной дороги. Но все же и теперь едва ли можно найти другое настолько же красивое место в пределах Уссурийского края. С выходом поезда из Щёк картина их по ту сторону быстро и резко меняется. Горные цепи, кряжи твердыни остались позади или отошли в сторону, теряясь в облаках на горизонте».

Как и любой входивший в XIX в. на судне во Владивосток непременно обращал внимание на его главную достопримечательность – кекур Шапка Мономаха на оконечности мыса Басаргина, так и любой въезжавший в него по колесной дороге или сплавлявшийся вниз по реке Раздольной не обходил вниманием особенности Медвежьих Щёк. Однако прокладка Уссурийской железной дороги потребовала взрыва последних, и эхо этого взрыва давно уже потонуло в стуке колес времени. О некогда брэндовом объекте всего Уссурийского края сегодня ни жители Уссурийска, ни жители Раздольного даже не слышали.

Лозунг начала XX в., озвученный Арсеньевым в последних строках «Дерсу Узала», был актуален и в его середине, когда не раз с восхищением описываемые Владимиром Клавдиевичем сопки в устье реки Сучан (Партизанской. – *Прим. авт.*) Сестра и Брат лишились одной из вершин и горы, упоминавшиеся даже в сказаниях бохайского времени, лишились природной привлекательности, превратившись из символов окрестностей Находки в символы преступной деятельности неразумных детей той же природы – людей.

Если в древности, как писал Арсеньев «многие приезжали сюда даже из Китая, чтобы совершить поклонение богам, и всегда получали исполнение своих желаний», то начиная с 1930-х гг. люди стали использовать гору Брат как карьер для добычи щебня при строительстве порта Восточный, моста через реку и при строительстве жилых массивов Находки. Спросите сегодня любого находчанина о том, что он об этом думает сейчас?

Арсеньев не был ярким противником цивилизации, дававшей и скорость, и комфорт, и новые знания. Но его произведения пронизаны болью за утраченное и предостережением о будущих потерях, которые, как и Медвежьи Щёки и сопка Брат, уже будут невозможны. А разве красота окружающего мира – это не комфорт?

В связи с этим хотелось бы обратиться к тем, кто проектирует и будет воплощать проект ВКАД и возведение моста с Токаревской кошки на оконечности полуострова Шкота во Владивостоке на остров Елену, отнестись к предстоящему неизбежному продвижению цивилизации ответственно и помнить, что бездумное уничтожение природного ландшафта – уже будет невозможно. Никто уже не вспомнит их добром. А относительно к ним будут вспоминать заключительные строки великого гуманиста в его великом гимне природе – «Дерсу Узала».

Не будем делать лозунг XX века лозунгом XXI.

Список использованных источников

1. Арсеньев, В.К. Собрание сочинений в шести томах / В.К. Арсеньев. – Т. 1–3. – Владивосток: Рубеж, 2007; 2011; 2012.

2. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. – Санкт-Петербург. – Т1(1) –41(А), 1890–1904.
3. Пржевальский, Н. Путешествие в Уссурийском крае 1867–1869 гг. / Н. Пржевальский. – Владивосток: ДВКИ, 1990.
4. Шрейдер, Д. Наш Дальний Восток / Д. Шрейдер. – Санкт-Петербург: Изд. А.Ф. Девриена, 1897.

Информация об авторе

Уфимцев Юрий Юрьевич, востоковед-историк, переводчик китайского языка, писатель, журналист, деловой еженедельник «Конкурент». E-mail: uu22@mail.ru

Section I. THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND V.K. ARSRNYEV

Chapter 4. DEFEATED GIANTS: BEAR CHEEKS – THE MAIN NATURAL ATTRACTION OF PRIMORYE OF THE XIX CENTURY

Yuriy Yu. Ufimtsev¹

Abstract. *The main geographical attraction of Primorye, "which in its wild beauty is compared with the best places in the Caucasus," before the revolution, was the Bear Cheeks near Ussuriysk.*

Keywords: *Bear Cheeks; South Ussuri Krai; Dersu Uzala.*

Information about authors

Yuriy Yu. Ufimtsev, oriental historian, translator of Chinese, writer, journalist, business weekly "Konkurent". E-mail: uu22@mail.ru

¹ Business weekly "Konkurent", 10 Krasnogo Znameni str., Vladivostok, 690106, Russia

Раздел II. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Глава 5. ПТИЦЫ ВОДНО-ОКОЛОВОДНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

М.А. Беланов¹, М.Ю. Щелканов^{2,3,4,5}, Д.В. Панкратов³, М.Д. Боярова⁶,
В.Ю. Цыганков^{1,7}

Аннотация. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) – класс наиболее опасных поллютантов с точки зрения воздействия на окружающую среду и здоровье человека. СОЗ обладают сильными токсическими свойствами, способностью к биоаккумуляции и, кроме того, крайне медленно распадаются в окружающей среде. За счет трансграничного переноса водными и воздушными массами СОЗ осаждаются на большом расстоянии от источника загрязнения и накапливаются в водных и наземных экосистемах. Птицы водно-околоводного экологического комплекса – широко распространенная и высокоподвижная группа теплокровных животных, многие виды которой совершают регулярные миграции на большие расстояния. Мигрирующие птицы могут служить индикаторами трансграничного переноса различных поллютантов. В настоящем исследовании приведены данные содержания стойких органических загрязняющих веществ в организме утиных (Anseriformes: Anatidae) на оз. Ханка (Приморский край).

Ключевые слова: мигрирующие птицы; Anatidae; озеро Ханка; стойкие органические загрязнители; СОЗ; хлорорганические пестициды; ХОП; ГХЦГ; ДДТ; ДДД; ДДЭ; полихлорированные бифенилы; ПХБ.

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

² Институт наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

³ Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Сельская, 1.

⁴ Федеральный научный Центр биологического разнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1.

⁵ Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, 690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17.

⁶ Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

⁷ Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

Птицы водно-околоводного экологического комплекса – группа высокоомобильных теплокровных животных, которые распространены по всему миру. Они крайне чувствительны к изменениям окружающей среды и обычно занимают высокие трофические уровни. Одним из элементов антропогенного воздействия на них является поступление стойких органических загрязнителей на территорию гнездовых и зимовочных ареалов, а также мест концентрации (хабов) на пути сезонных миграций. Поэтому уровень содержания СОЗ в организме птиц является маркером различного рода токсикантов в окружающей среде, а в более широком плане – отражением тенденций загрязнения биосферы [13, 22, 23, 25]. При этом перелетные птицы показывают не только местное, но и интегральное загрязнение вдоль миграционных путей, которые преодолеваются не единым броском, а с длительными остановками в хабах, хорошо известных как места интенсивного обмена различными вирусами [7, 8, 15].

Регулярные мониторинговые исследования содержания стойких органических загрязняющих веществ в организме мигрирующих птиц водно-околоводного экологического комплекса на юге российского Дальнего Востока, в настоящее время только разворачиваются [4, 5]. В данной работе такие данные представлены для утиных (Anseriformes: Anatidae) на оз. Ханка (Приморский край).

Загрязнение и воздействие органических токсикантов на птиц

Птицы, как и многие другие живые организмы, способны аккумулировать хлорорганические соединения. Они накапливаются в жировых тканях, и поскольку период полураспада СОЗ составляет порядка 30 лет, то их концентрация в организме, как правило, увеличивается на протяжении всей жизни животного. Разные группы птиц занимают разные трофические уровни, следовательно, «конечные» хищники накапливают самые высокие концентрации загрязняющих веществ [19, 23].

Одно из первых сообщений о массовой гибели птиц, вызванной активным применением пестицидов, относится к 1954 г.: животные расклевывали дохлую рыбу, в тканях которой зафиксированы высокие уровни концентраций СОЗ, летальные как для рыб, так и для птиц [12].

В 1960–1970-е гг. во времена массового применения хлорорганических пестицидов (ХОП) наблюдались сокращения популяций многих видов птиц в местах использования токсикантов. Исследования орнитофауны, проведенные в начале 1980-х гг., показали, что более 10 % изученных особей в различных районах земного шара, принадлежащих к разным таксономическим и экологическим группам, содержали не только соединения дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ), гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и полихлорированных бифенилов (ПХБ), но и гептахлора, оксихлордана, дильдрин и др. Как правило, преобладают ДДТ и ПХБ [13]. Отмечалась тенденция снижения гибели птиц после ограничения и запрета на эксплуатацию ряда токсичных для живых организмов пестицидов, таких как ДДТ, эндрин, дильдрин и др. [19].

Органические ксенобиотики оказывают широкий спектр побочных эффектов у птиц, влияя на их эндокринную, иммунную и нервную системы, репродукцию, развитие и рост. Однако противоречивые результаты свидетельствуют о том, что потенциальное воздействие СОЗ на физиологические параметры птиц является многофакторным, включая множество биологических процессов, видовые различия, пол, возраст и типы соединений [20, 23]. Так, заметно изменяется содержание токсикантов в зависимости от жировых запасов. При ухудшении

общего физиологического состояния птиц и расходовании жировых компонентов происходит перераспределение СОЗ в организме, что приводит к увеличению их содержания в мозге и печени [19]. Уровень загрязнения в значительной степени связан и с типом питания птиц. Для растительноядных видов птиц, как правило, характерны меньшие концентрации ДДТ и ПХБ, чем для всеядных и инсектофагов [13].

Использование мигрирующих птиц в качестве биоиндикаторов

Применение птиц разных трофических уровней для целей биомониторинга весьма перспективно. Они быстро и непосредственно реагируют на динамику природной среды и экологических факторов, в частности антропогенных [2, 13].

Исследование внутренних органов птиц, таких как мышечная ткань, печень, сердце, головной мозг и т.д., способно отражать поступление органических ксенобиотиков через потребление пищи. Благодаря своей липофильной природе хлорорганические пестициды накапливаются и депонируются, прежде всего, в жировой ткани. Однако при стрессах, голодании у птиц во время процесса миграций, когда расходуется большое количество жировых запасов, поллютанты переходят во внутренние органы и ткани, что приводит к хроническому или острому отравлению. У теплокровных животных уровень органических ксенобиотиков в крови и внутренних органах обратно пропорционален количеству жировых запасов [6].

Хищные птицы как наиболее показательная группа организмов оставались важным объектом наблюдения в системе биомониторинга, отражая накопление органических токсикантов на конечных звеньях трофической сети. Однако многие авторы предпочитают обходить трудности изучения малых выборок, исследуя более многочисленные виды птиц, которые обычно располагаются ниже по пищевой цепи. Так, для мониторинга побережья Северного моря использовали типичных прибрежных птиц, таких как речная крачка (*Sterna hirundo*) и серебристая чайка (*Larus argentatus*) [17, 18]. В свою очередь, служба рыболовства и дикой природы (FWS) США для исследовательских работ по изучению поллютантов использует следующих птиц: белоголового орлана (*Haliaeetus leucocerphalus*), крякву (*Anas platyrhynchos*) и американскую черную крякву (*Anas rubripes*). Кряква и американская черная кряква занимают обширный ареал, в совокупности покрывающий большую часть США. Белоголовый орлан занимает конечное звено в трофической сети, в результате чего испытывает наиболее значительный ксенобиотический прессинг [19].

В биоиндикационных исследованиях и многолетнем фоновом мониторинге загрязнения экосистем хлорорганическими соединениями используются не только ткани, но и яйца птиц [6, 20]. Впервые токсичное воздействие СОЗ на птиц зафиксировано именно при изучении птичьих яиц [23]. Птичье яйцо используется во многих исследованиях для контроля органических ксенобиотиков, поскольку оно имеет ряд преимуществ перед внутренними тканями. Яйца имеют очень постоянный состав, в отличие от тканей. Они производятся четко идентифицированным сегментом популяции – взрослыми самками, хотя это может быть недостатком, поскольку исключает выборку других членов. Отбор проб яиц ограничен строгими временными рамками и возможен исключительно в период кладки яиц, который индивидуален и зависит не только от вида птиц, но и от района гнездования. Образцы легки в обращении. Предполагается, что уровни загрязняющих веществ в испорченных яйцах незначительно отличаются от недавно оплодотворенных яиц [19].

Кроме положительных аспектов использования яиц существуют и определенные недостатки. Присутствие загрязнения в яйцах обычно отображает поглощение загрязняющих веществ за короткий период до откладывания яиц, и поэтому они не могут использоваться для исследования перманентной нагрузки загрязняющих веществ, полученных в другое время года [19, 23].

В зарубежной практике использование в системе мониторинга яиц диких птиц является традиционным явлением. Так, исследователи из Англии выявили зависимость для оценки уровня загрязненности ДДТ в регионе. Вес яичной скорлупы с началом использования ДДТ у хищных птиц уменьшился на 18,9%, что в ряде случаев привело к ломкости яиц в период инкубации. Позднее выявлена обратная корреляция между осадочным дихлордифенилдихлорэтиленом (ДДЭ) в яйцах и толщиной скорлупы у скопы, белоголового орлана и сапсана. Для всех этих видов было показано, что степень уменьшения толщины яичной скорлупы находится в окололинейной зависимости от концентрации только ДДЭ [23]. Этот метаболит является наиболее опасным для птиц, так как обладает эмбриотоксичностью и способен крайне негативно влиять на размножение птиц [25].

В связи с проводимыми мероприятиями по запрещению применения СОЗ наблюдается положительная динамика состояния некоторых популяций хищных и рыбоядных птиц Северного полушария [19]. Но мониторинговые исследования загрязнения органов птиц органическими токсикантами по-прежнему необходимы.

Мониторинг СОЗ у птиц на примере популяции утиных озера Ханка

В качестве объектов исследования использовались водоплавающие птицы семейства утиных (Anseriformes: Anatidae), многие виды которых представляют важное значение как охотничьи ресурсы. Водоплавающие виды преобладают над хищными представителями класса, что позволяет в короткие сроки собрать обширный материал для исследования. Наличие сведений об уровнях содержания органических ксенобиотиков крайне необходимо как для мониторинга участия птиц в глобальном фоне и циркуляции СОЗ, так и для расчета экологических рисков для человека в связи с потреблением дичи в пищу.

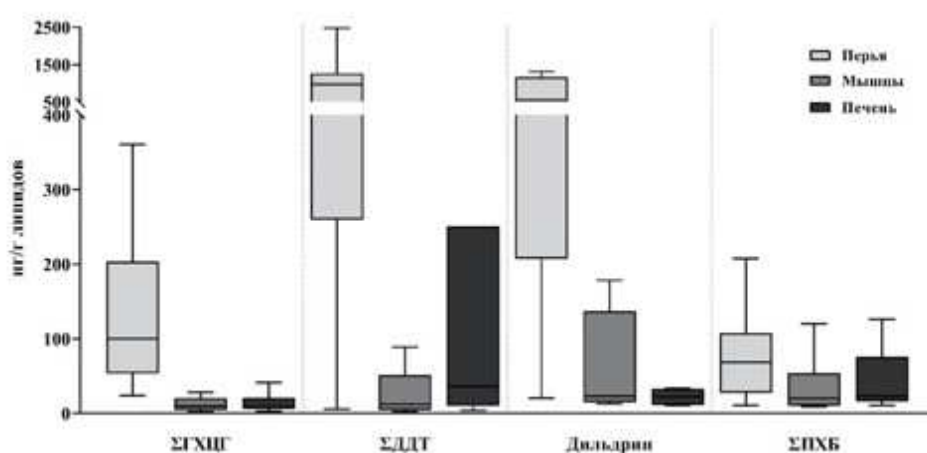
Биологический материал для исследования в количестве 29 особей отбирался путем лицензионного научного отстрела на территории водно-болотных угодий оз. Ханка (рис. 5.1) в период с апреля по май 2021 г. На содержание хлорорганических соединений исследованы образцы грудных мышц, печени и перьевого материала птиц.

Основное определение массового содержания хлорорганических соединений в биоматериале проводили на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra с детектором электронного захвата. Среди СОЗ в исследованных образцах определяли: α -, β -, γ - и δ -ГХЦГ, p,p' -ДДТ, o,p' -ДДТ, p,p' -ДДД, o,p' -ДДД, p,p' -ДДЭ, o,p' -ДДЭ, дильдрин и 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180 конгенеры ПХБ. Пробоподготовка биологического материала проводилась согласно методике, приведенной в исследовании [24]. Статистический анализ и графическое представление результатов выполнено с использованием GraphPad Prism 9,0 (GraphPad Software Inc.). Достоверность данных оценивали с помощью двустороннего критерия Краскала – Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Результаты представлены в виде диапазона концентраций (min–max) и среднего значения со стандартным отклонением (mean $\pm$ standard deviation).



Рис. 5.1. Карта района отбора особей

Хлорорганические соединения ($\Sigma\text{ХОП} + \Sigma\text{ПХБ}$) выявлены во всех исследованных образцах. Наибольшая средняя концентрация определялась в перьевом материале птиц и варьировалась от 100,0 до 3831,6 нг/г липидов. В печени и грудных мышцах птиц уровни ХОС находились в пределах 12,1–1117,1 и 9,0–460,7 нг/г соответственно (рис. 5.2). Большая концентрация в печени в сравнении с мышцами подтверждает ее депонирующие функции.

Рис. 5.2. Суммарный диапазон содержания $\Sigma\text{ГХЦГ}$, $\Sigma\text{ДДТ}$, дильдрин и $\Sigma\text{ПХБ}$ в органах птиц

Хлорорганические пестициды ($\Sigma\text{ГХЦГ} + \Sigma\text{ДДТ}$) обнаружены во всех исследуемых особях исключительно в пробах перьевого материала. В остальных же случаях процент обнаружения составил для грудных мышц 76%, для печени 93%. Наибольшие средние уровни ХОП наблюдались в перьевом материале в диапазоне от 38,3 до 3758,2 нг/г липидов. В печени и грудных мышцах сумма концентраций варьировалась от 2,9 до 1058,7 и от 4,6 до 418,3 нг/г липидов соответственно. Печень превосходила грудные мышцы по средней концентрации $\Sigma\text{ХОП}$.

В свою очередь, уровни изомеров ГХЦГ в перьях также имели наибольшие концентрации и были определены во всех образцах, в сравнении с мышцами и печенью, частота обнаружения которых составила 62 и 79% соответственно. Среди изомеров ГХЦГ наиболее встречаемыми во всех органах стали β - и δ -формы, при этом α -ГХЦГ единично представлен в печени. Диапазоны концентраций в печени и мышцах имеют следующие значения: β -ГХЦГ – 1,6–15,3 (обнаружение – 79%) и 2,3–18,2 (59%); δ -ГХЦГ – 1,2–39,6 (48%) и 1,4–24,5 (24%) нг/г липидов соответственно. Изомерный состав перьевого покрова представлял все исследуемые формы: α -, β -, δ - и γ -ГХЦГ. Первые три формы обнаружались во всех пробах с диапазонами – 1,7–30,8; 7,1–111,6; 12,5–275,2 нг/г липидов соответственно, а последняя форма имела процент обнаружения 76, диапазон 1,1–60,4 нг/г.

Среди исследованного биологического материала Σ ДДТ (ДДТ и его метаболиты) наибольшую среднюю концентрацию и частоту обнаружения имели перья – $1035,0 \pm 995,5$ нг/г липидов (86%). В свою очередь, печень и грудные мышцы имели схожие частоты обнаружения: 38 и 41% в диапазонах 2,1–240,0 и 4,1–1034,7 нг/г липидов соответственно. Самый разнообразный состав метаболитов ДДТ представлен в образцах грудных мышц, который представлял все исследуемые формы: p,p' -ДДТ, o,p' -ДДТ, p,p' -ДДД, o,p' -ДДД, p,p' -ДДЭ и o,p' -ДДЭ, диапазоны которых вирировались в пределах 7,6 (частота обнаружения 3%); 13,3–59,0 (10%); 2,3–28,5 (14%); 10,4–240,0 (7%); 2,1–68,7 (10%) и 2,9–4,9 нг/г липидов соответственно. Метаболиты ДДТ с наиболее высокими концентрациями в сравнении с другими органами наблюдались в перьевом материале; самой выявляемой формой являлся p,p' -ДДЭ с частотой определения 76% и диапазоном 3,7–3668,0 ($1091,8 \pm 1009,5$) нг/г липидов. Единично представлен o,p' -ДДД (895,9 нг/г липидов). Определены также o,p' -ДДЭ и o,p' -ДДТ, которые лежали в диапазонах 2,1–476,5 и 39,2–346,2 нг/г липидов, с частотой выявления 24 и 10% соответственно. В пробах печени отмечались следующие метаболиты: p,p' -ДДТ (3%), p,p' -ДДД (7%), o,p' -ДДД (21%) и p,p' -ДДЭ (14%), которые соответствовали следующим диапазонам: 7; 17,6–36,4; 10,4–1034,7; 4,1–38,1 нг/г.

Уровни дильдрина в биологическом материале птиц отмечались со следующей частотой выявления: для печени – 14% ($22,4 \pm 11,8$ нг/г липидов), для грудных мышц – 24% ($59,3 \pm 68,4$ нг/г липидов); для перьевого материала – 17% ($657,3 \pm 509,6$ нг/г липидов).

Полихлорированные бифенилы выявлены во всех исследуемых образцах птиц. Среди органов наибольшее разнообразие частных ПХБ показала печень, в которой определены ПХБ 28, 52, 101, 118, 153, 138 и 180. Абсолютно во всех пробах выявлен ПХБ 28 ($46,7 \pm 44,6$ нг/г липидов). В печени и грудных мышцах, несмотря на относительно равные уровни средних значений ($15,8 \pm 10,4$ и $15,9 \pm 12,4$ нг/г липидов соответственно), медианные значения печени (13,3 нг/г липидов) превосходили грудные мышцы (10,7 нг/г липидов). Конгенер ПХБ 52 имел наибольшую частоту определения в печени (31%) и единично отмечался в перьях (31,4 нг/г липидов) и грудных мышцах (2,0 нг/г липидов), при этом обе концентрации обнаружены в одной особи. Конгенер 101 отмечался только в печени с частотой обнаружения 10% в диапазоне от 3,4 до 11,0 нг/г липидов; в мышцах и перьях он находился ниже пределов обнаружения.

Среди остальных исследуемых высокохлорированных конгенов ПХБ (118, 153, 138 и 180) уровни варьировались в грудных мышцах (6,2–19,9; 4,5–56,4; 4,9–30,1 и 16,9–25,3 нг/г липидов), в печени (3,8–20,2; 2,7–55,0; 7,7–48,6 и 6,5–14,9 нг/г липидов), в перьевом материале (6,9–560,7; 1302,2–13,5; 15,5–615,1 и 32,4–242,9 нг/г липидов соответственно).

Установлена следующая последовательность преобладания ХОС для мышц: ГХЦГ < ДДТ < ПХБ $\approx$ дильдрин; для печени: ГХЦГ < дильдрин < ПХБ < ДДТ; для перьев: ПХБ < ГХЦГ < дильдрин < ДДТ. Закономерность распределения по органам в весенний период: мышцы < печень < перья.

Подробные концентрации в отдельных видах представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Концентрации хлорорганических соединений в органах птиц семейства утиных, нг/г липидов

Вид	№	Орган	Lipid, %	УГХЦГ ⁴	УДДТ ⁵	Дильдрин	УПХБ ⁶
Кряква (<i>Anas platyrhynchos</i>)	3	Мышцы	1,86–2,06 ¹ 1,99±0,11 ²	< ПО ³ –3,8	< ПО – 2,1	12,9–137,2 55,1±71,1	9,6–35,4 18,4±14,7
		Печень	2,54–3,45 3,08±0,48	< ПО – 7,0 5,6	< ПО – 926,2 468,3	< ПО – 11,0	13,9–30,0 20,1±8,7
		Перья	0,07–0,24 0,16±0,08	151,2–233,0 193,6±41,0	868,1–2894,5 2081,7±1071,0	< ПО	94,8–2766,8 1023,0±1511,3
Косатка (<i>Anas falcata</i>)	6	Мышцы	0,69–1,44 1,05±0,37	< ПО – 21,8 14,4±7,8	< ПО – 11,3	< ПО	8,6–59,4 21,5±19,3
		Печень	0,63–3,27 1,67±0,94	< ПО – 11,3 8,6±2,0	< ПО	< ПО	11,7–26,4 16,2±5,5
		Перья	0,31–1,60 0,96±0,54	23,7–155,3 64,5±50,0	< ПО – 274,6 579,5±439,1	< ПО – 1311,1	10,9–38,3 16,2±10,0
Чирок-свиистунок (<i>Anas crecca</i>)	4	Мышцы	0,85–1,96 1,50±0,48	< ПО – 2,8	< ПО – 240,0	26,7–178,3 102,5	9,0–42,4 17,7±16,5
		Печень	1,44–3,38 2,62±0,83	< ПО – 24,0 12,1±10,8	< ПО – 1034,7 527,2	< ПО – 33,7	13,2–58,4 31,1±19,4
		Перья	0,14–0,86 0,51±0,39	46,4–245,2 170,1±137,3	8,3–1242,1 524,0±517,2	< ПО – 549,0	13,7–121,2 67,5±44,4
Черная кряква (<i>Anas zonorhynchos</i>)	1	Мышцы	1,87	< ПО	< ПО	< ПО	11,1
		Печень	2,35	< ПО	< ПО	31,3	76,9
		Перья	0,23	245,2	< ПО	394,8	54,2
Шилохвость (<i>Anas acuta</i>)	2	Мышцы	0,74–0,93 0,84	8,9–28,4 18,7	< ПО – 6,2	< ПО	10,9–100,8 55,9
		Печень	0,56–1,14 0,85	28,0–53,0 40,5	4,1–250,6 127,4	< ПО	22,7–81,2 52,0
		Перья	0,16–0,49 0,32	83,8–210,3 147,1	28,0–3674,4 1851,2	< ПО	28,3–108,1 68,2

Окончание табл. 5.1

Вид	№	Орган	Lipid, %	УГХЦГ ⁴	УДДТ ⁵	Дильдрин	УПХБ ⁶
Чернеть хохлатая (<i>Aythya fuligula</i>)	3	Мышцы	1,17–2,47 1,61 ± 0,75	< ПО – 11,0	< ПО	< ПО – 21,7	28,3–108,1 37,3±43,4
		Печень	1,75–2,09 1,90±0,17	< ПО – 5,0	< ПО	< ПО – 13,5	15,9–120,2 52,5±58,7
		Перья	0,15–0,93 0,41±0,45	53,9–447,3 224,4±201,9	1073,6–1325,3 1193,2±126,3	< ПО	70,5–107,6 87,8±18,7
Морская чернеть (<i>Aythya marila</i>)	7	Мышцы	0,46–3,26 1,85±0,93	< ПО – 16,7 6,4±5,9	< ПО – 89,0 26,0±36,8	< ПО – 23,2	9,5–120,4 70,9±41,9
		Печень	0,79–1,84 1,43±0,35	3,3–17,3 10,3±5,7	< ПО – 80,6 41,1±31,5	< ПО	16,9–126,3 83,1±37,7
		Перья	0,25–2,25 0,74±0,72	32,5–215,9 115,7±71,5	< ПО – 2920,1 785,5±1132,74	< ПО – 1011,0 515,8	26,7–283,5 102,3±90,6
Мандаринка (<i>Aix galericulata</i>)	3	Мышцы	0,57–1,41 1,01±0,42	18,6–27,0 22,2±4,3	13,3–59,0 33,7±23,2	< ПО	14,2–35,0 23,8±10,5
		Печень	0,57–1,41 0,61±0,42	20,6–41,6 33,0±11,0	< ПО	< ПО	10,9–21,1 16,8±5,3
		Перья	0,38–0,94 0,61±0,29	38,8–166,6 97,6±64,5	968,7–1281,4 1073,5±180,1	< ПО	29,6–257,2 121,4±120,0

Примечание: ¹диапазон, min–max (числитель); ²среднее арифметическое ± стандартное отклонение (знаменатель); ³ниже предела обнаружения; ⁴сумма α-ГХЦГ, β-ГХЦГ, γ-ГХЦГ и δ-ГХЦГ; ⁵сумма p,p'-ДДТ, o,p'-ДДТ, p,p'-ДДЭ, o,p'-ДДЭ, p,p'-ДДД и o,p'-ДДД; ⁶сумма ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 118, ПХБ 153, ПХБ 138 и ПХБ 180.

Преобладание γ-ГХЦГ в оперении свидетельствует о присутствии свежего загрязнения в гидросфере и атмосфере. Секрет, вырабатываемый копчиковой железой, способен предохранять птицу от намокания и других неблагоприятных воздействий влаги, а также облегчает передвижение водоплавающих птиц в воде [3]. Благодаря наличию таких липидопродуцирующих органов перо способно аккумулировать органические загрязняющие вещества, действуя как «клей» для внешних загрязнений [21]. В свою очередь, в мышцах и печени выявлены более устойчивые к разложению в окружающей среде β- и δ-формы. Их преобладание свидетельствует о давности использования токсикантов в местах обитания и пролета птиц.

Несмотря на общую давность загрязнения, о чем свидетельствует преобладание метаболитов ДДЭ и ДДД над ДДТ, отмечается присутствие метаболитов p,p'-ДДТ и o,p'-ДДТ, что, вероятно, свидетельствует о недавнем попадании токсикантов в организм. Это указывает на то, что многие мигрирующие виды питаются в районах с высоким уровнем использования ДДТ на своих миграционных маршрутах.

Гомологический состав ПХБ характеризуется большим количеством высокохлорированных конгенов, которые отличаются большей стойкостью и вре-

менем полувыведения, что связано с их высокой растворимостью в жирах и снижением доли легколетучих низкохлорированных аналогов.

Межвидовые различия в уровнях СОЗ хорошо согласуются с потенциальными различиями в трофическом положении между видами из-за изменений в составе добычи и районах кормодобывания. Немаловажным фактором является район зимовки. Характер накопления хлорорганических соединений отражает различия в маршрутах миграции. Разные виды даже внутри одного семейства имеют разные миграционные предпочтения [9, 10, 15, 16].

Разные типы миграций у представителей семейства Anatidae обуславливают накопление тех или иных органических ксенобиотиков [19]. Так, для кряквы, шилохвости, хохлатой и морской чернети выявлена закономерность накопления высокохлорированных конгенов ПХБ, таких как 118, 153, 138 и 180, и в целом преобладание ΣПХБ над ΣХОП в печени и мышцах двух последних видов и косатки (рис. 5.3).

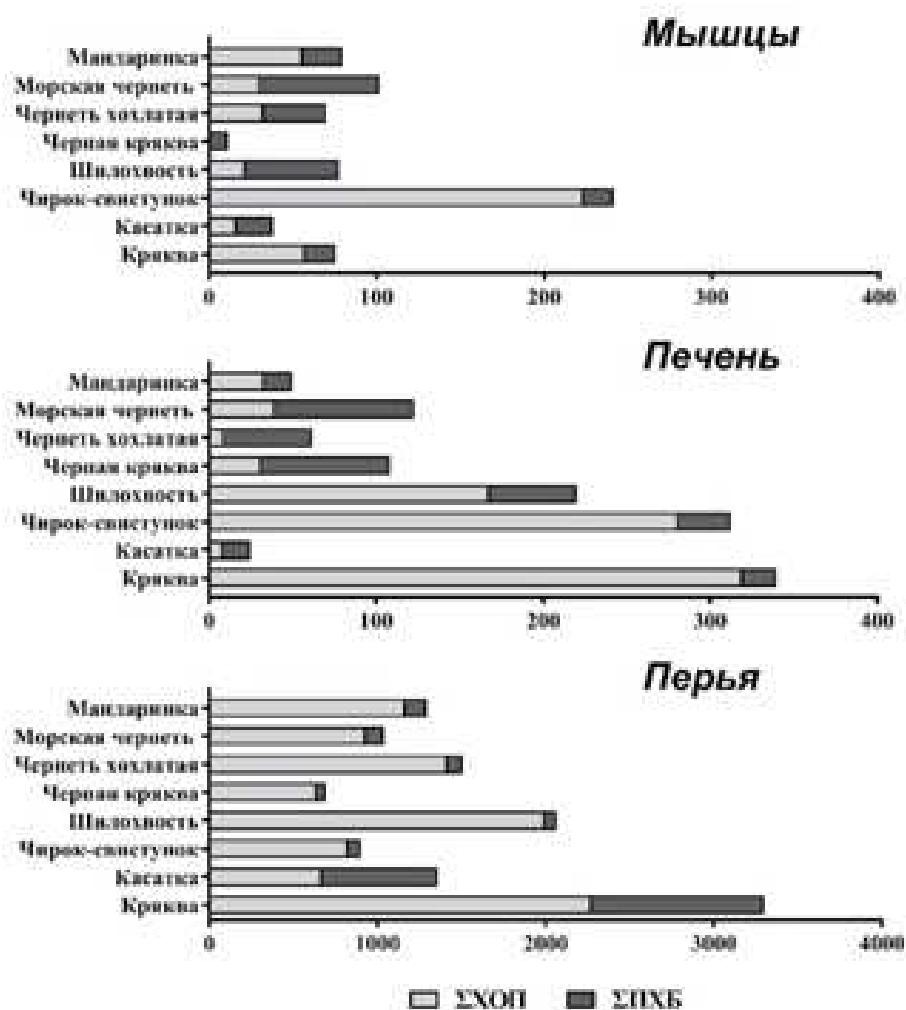


Рис. 5.3. Уровни ΣХОП и ΣПХБ в перьях, мышцах и печени птиц семейства Anatidae, нг/г липидов

Наличие данного состава токсикантов в организмах птиц обусловлено спецификой путей пролета, которые приурочены к морским побережьям и открытому морю. Так, миграция крупных стай может происходить на удалении от береговой линии до 7 км. Районы зимовки расположены в Японии, Корее и Китае [6, 15, 16]. Эти морские пути являются районами активного судоходства, что, весьма вероятно, и является причиной поступления ПХБ.

Чирок-свистунок и мандаринка характеризовались доминированием в общей структуре токсикантов групп ДДТ, ГХЦГ и дильдрина, т.е. соединения ХОП (см. рис. 5.3). В исследовании Kunisue (2003) выявлен характер накопления концентраций хлорорганических соединений в местных птицах, в частности в Японии – ПХБ, на Филиппинах – ПХБ и хлордан, в Индии – ГХЦГ и ДДТ, во Вьетнаме – ДДТ, на оз. Байкал – ПХБ и ДДТ. В связи с этим можно предположить, что собранные птицы с оз. Ханка, имеющие места зимовок в районе тропической Азии, а миграционные русла – на территории Китая, накапливают органические поллютанты именно там.

Стойкие органические загрязняющие вещества обладают канцерогенными, цитотоксическими, тератогенными и генотоксическими свойствами, поэтому аккумуляция токсикантов в организме птиц оказывает негативное воздействие как на здоровье взрослых особей, так и на развитие плода в яйце. Продолжение мониторинга накопления СОЗ перелетными птицами даст новые сведения о вкладе миграций в трансграничный перенос поллютантов на большие расстояния. Несмотря на преобладание форм, свидетельствующих о давнем поступлении ксенобиотиков в среду, присутствие «свежих» поллютантов говорит о необходимости продолжения исследования птиц на предмет содержания ХОС и путей трансформации и аккумуляции этих веществ в окружающей среде.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Агрохимикаты в окружающей среде / Э. Хайниш, Х. Паукке, Г.-Д. Негель [и др.]; пер. с нем. и предисл. Н.Г. Ракипова. – Москва: Колос, 1979. – 357 с.
2. Безель, В.С. Экологическая токсикология: популяционный и биоэкологический аспекты / В.С. Безель. – Екатеринбург: Изд-во Голицынский, 2006. – 280 с.
3. Выставной, А.Л. Биохимический состав и некоторые свойства секрета копчиковых желез у кур и уток / А.Л. Выставной, М.Г. Лидер, А.Я. Рябиков // Омский научный вестник. – 2006. – № 3 (36). – С. 168–171.
4. Дунаева, М.Н. Выявление причин эпизоотической вспышки, вызвавшей массовую гибель тупиков-носорогов на побережье Японского моря в южной части Приморского края (июль 2021 г.) / М.Н. Дунаева, Д.В. Панкратов, А.Л. Суворый [и др.] // Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal). – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 90–97.
5. Дунаева, М.Н. Микробиологический пейзаж в очаге эпизоотии с высокой смертностью среди тупиков-носорогов (*Cerorhinca monocerata*) на юге Приморского края в июле 2021 г. / М.Н. Дунаева, Д.В. Панкратов, А.Л. Суворый [и др.] // Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания: тезисы докладов Второй Всероссийской научной конференции с международным участием. – Иркутск, 2022. – С. 133, 134.

6. Ивантер, Э.В. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера / Э.В. Ивантер, Н.В. Медведев. – Москва: Наука, 2007. – 229 с.
7. Львов, Д.К. Молекулярно-генетический анализ биологических свойств высокопатогенных штаммов вируса гриппа А / H5N1, изолированных от диких и домашних птиц в период эпизоотии в Западной Сибири (июль 2005 г.) / Д.К. Львов, А.Г. Прилипов, М.Ю. Щелканов [и др.] // Вопросы вирусологии. – 2006. – Т. 51, № 2. – С. 15–19.
8. Львов, Д.К. Расшифровка эпизоотической вспышки среди диких и домашних птиц на юге европейской части России в декабре 2007 г. / Д.К. Львов, М.Ю. Щелканов, А.Г. Прилипов [и др.] // Вопросы вирусологии. – 2008. – Т. 53, № 4. – С. 18–23.
9. Нечаев, В.А. Птицы Дальнего Востока России / В.А. Нечаев, Т.В. Гамова. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 564 с.
10. Поливанова, Н.Н. Птицы озера Ханка (Охотничье-промысловые водоплавающие и колониальные) / Н.Н. Поливанова // Труды заповедника «Кедровая падь». – Владивосток: Дальневост. книжное изд-во, 1971. – Т. 3. – 239 с.
11. Соловьев, А.Н. Биоиндикационное значение птиц в современных условиях / А. Н. Соловьев // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. – 2012. – № 1. – С. 236–237.
12. Федоров, Л.А. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку / Л.А. Федоров, А.В. Яблоков. – Москва: Наука, 1999. – 462 с.
13. Фоновый мониторинг загрязнения экосистем суши хлорорганическими соединениями / Ф.Я. Ровинский, Л.Д. Воронова, М.И. Афанасьев [и др.] – Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. – 270 с.
14. Цыганков, В.Ю. Современные уровни хлорорганических пестицидов в морских экосистемах дальневосточных морей России / В.Ю. Цыганков, О.Н. Лукьянова // Сиб. экол. журн. – 2019. – Т. 26, № 6. – С. 688–703.
15. Щелканов, М.Ю. Эволюция высоковирулентного вируса гриппа А (H5N1) в экосистемах Северной Евразии (2005–2009 гг.): дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.02 / Щелканов Михаил Юрьевич. – Москва: НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского РАМН, 2010. – 488 с.
16. Щелканов, М.Ю. Вирус болезни Ньюкасла в популяциях диких птиц на территории юга Приморского края в период осенних миграций 2001–2004 гг. / М.Ю. Щелканов, Е.В. Усачёв, И.Т. Федякина [и др.] // Вопросы вирусологии. – 2006. – Т. 51, № 4. – С. 37–41.
17. Becker, P.H. Population and contamination studies in coastal birds: the Common Tern *Sterna hirundo*, in Bird Population Studies: Relevance to Conservation and Management / P.H. Becker, C.M. Perrins, J.D. Lehreton [et al.] // Oxford University Press, 1991. – 433 p.
18. Becker, P.H. Seabirds as monitor organisms of contaminants along the German North Sea coast / P.H. Becker // Helgolander Meeresuntersuchungen. – 1989. – No. 43. – P. 395–405.
19. Furness, R.W. Birds as monitors of pollutants / R.W. Furness, J.J.D. Greenwood // Birds as Monitors of Environmental Change. – 1993. – P. 86–143.
20. Hao, Y. Ecotoxicology of persistent organic pollutants in birds / Y. Hao, S. Zheng, P. Wang [et al.] // Environ Sci Process Impacts. – 2021. – Vol. 23, no. 3. – P. 400–416.

21. Jaspers, V.L.B. Evaluation of the usefulness of bird feathers as a non-destructive biomonitoring tool for organic pollutants: A comparative and meta-analytical approach / V.L.B. Jaspers, S. Voorspoels, A. Covaci [et al.] // *Environ Int.* – 2007. – Vol. 33, no. 3. – P. 328–337.

22. Kunisue, T. Accumulation features of persistent organochlorines in resident and migratory birds from Asia / T. Kunisue, M. Watanabe, A. Subramanian [et al.] // *Environ Pollut.* – 2003. – Vol. 125, no. 2. – P. 157–172.

23. Tanabe, S. Bioindicators of POPs: monitoring in developing countries / S. Tanabe, A. Subramanian. – Kyoto, Japan: Kyoto University Press; Melbourne: Trans Pacific Press, 2006. – 190 p.

24. Tsygankov, V.Yu. Sample preparation method for the determination of organochlorine pesticides in aquatic organisms by gas chromatography/ V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova // *Achievements in the Life Sciences.* – 2015. – Vol. 9. – P. 65–68.

25. Tsygankov, V.Y. Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific / V.Y. Tsygankov, O.N. Lukyanova, M.D. Boyarova // *Marine Pollution Bulletin.* – 2018. – No. 128. – P. 208–213.

Информация об авторах

Беланов Максим Андреевич, магистрант, Институт Мирового океана (Школа), Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). E-mail: belanov.ma@gmail.com

Щелканов Михаил Юрьевич, д-р биол. наук, директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова» Роспотребнадзора; заведующий кафедрой эпидемиологии, микробиологии и паразитологии, Институт наук о жизни и биомедицины, ДВФУ; заведующий лабораторией вирусологии, ФГБУН «Федеральный научный центр биологического разнообразия наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН; ведущий научный сотрудник лаборатории морских млекопитающих, ФГБУН «Национальный научный Центр морской биологии имени А.В. Жирмунского» ДВО РАН. E-mail: adorob@mail.ru

Панкратов Дмитрий Васильевич, заместитель директора по полевым исследованиям, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова» Роспотребнадзора. E-mail: pandm08@rambler.ru

Боярова Маргарита Дмитриевна, канд. биол. наук, доцент, заведующая лабораторией физико-механических испытаний Испытательного центра «Океан», Политехнический институт ДВФУ. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, заведующий Лабораторией пищевой биотехнологии и инженерии, директор Департамента комплексных проектов, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», заведующий Лабораторией прикладной экологии и токсикологии, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 5. BIRDS OF THE AQUATIC AND SEMIAQUATIC ECOLOGICAL COMPLEX IN THE SYSTEM OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS MONITORING

**Maksim A. Belanov¹, Mikhail Yu. Shchelkanov^{2,3,4,5}, Dmitry V. Pankratov³,
Margarita D. Boyarova⁶, Vasiliy Yu. Tsygankov^{1,7}**

Abstract. Persistent organic pollutants are the most hazardous organic compounds class in terms of environmental and health effects. POPs are highly toxic and include the ability to bioaccumulate. Likewise, the compounds extremely slowly disintegrate in natural environment. Due to transboundary transport within air and water masses, POPs can relocate and deposit accumulating in aquatic and terrestrial ecosystems outermost the source of the pollution. Birds are a widespread and highly mobile group of warm-blooded animals. Numerous species make regular long-term migrations over long distances. In addition, migratory birds can be exploited as transboundary transport indicators of various pollutants. This investigation provides data on persistent organic pollutants in Anatidae birds.

Keywords: migratory birds; Lake Khanka; Anatidae; persistent organic pollutants; POPs; organochlorine pesticides; OCPs; HCH; DDT; DDD; DDE; polychlorinated biphenyls; PCBs

Information about authors

Maksim A. Belanov, Master's student, Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU). E-mail: belanov.ma@gmail.com

Mikhail Yu. Shchelkanov, Dr. Biol. Sci., Director of G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology of Rospotrebnadzor; Head of the Department of Epidemiology, Microbiology and Parasitology, Institute of Life Sciences and Biomedicine, FEFU; Head of the Laboratory of Virology, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Marine Mammals, A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. E-mail: adorob@mail.ru

Dmitry V. Pankratov, Deputy Director for Field Research, G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology of Rospotrebnadzor. E-mail: pandm08@rambler.ru

Margarita D. Boyarova, Ph.D. Biol. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical and Mechanical Tests of the Testing Center "Ocean", Polytechnic Institute FEFU. E-mail: boyarova.m@mail.ru.

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Engineering, Director of the Department of Complex Projects, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", FEFU; Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Head of the Laboratory of Applied Ecology and Toxicology, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

¹ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Institute of Life Sciences and Biomedicine, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

³ Research Institute of Epidemiology and Microbiology named after G.P. Somov of Rospotrebnadzor, 1 Selskaya str., Vladivostok, 690087, Russia.

⁴ Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022 Russia.

⁵ National Scientific Center of Marine Biology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 17 Palchevskogo str., Vladivostok, 690041, Russia.

⁶ Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

⁷ Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 6. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЫШЬЯК В ОРГАНАХ РЫБ СЕМЕЙСТВА КАРПОВЫХ (CYPRINIDAE) РЕКИ АМУР

В.О. Бизбородов¹, М.К. Гамов², Л.Т. Ковековдова¹, В.А. Лях², В.Ю. Цыганков^{1,2}

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-55-64>

Аннотация. Определены уровни содержания элементов (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Pb, Cd, As) в органах рыб семейства карповых (Cyprinidae) из реки Амур. Максимальные концентрации большинства элементов накапливаются в печени, минимальные – в мышцах. Концентрации токсичных элементов (Pb, Cd, As) в органах рыб незначительны и не превышают допустимых уровней. Исключение составляет содержание свинца в печени карася серебряного, превышающее ПДУ.

Ключевые слова: тяжелые металлы; мышьяк; концентрация; рыбы; р. Амур.

На протяжении последних десятилетий, в связи с активным развитием промышленных предприятий, внесением в почву огромных доз минеральных удобрений, увеличением количества автотранспорта и др., содержание токсичных элементов в окружающей среде, в том числе в водных экосистемах, постоянно растет [17]. Попад в водоем, основная их часть депонируется в донных отложениях, оставшаяся часть вовлекается в пищевые цепи и по ним переходит в более высокие трофические уровни [2, 7, 26].

Воздействие токсичных элементов на биоту пресных водоемов крайне опасно, поскольку может снижать устойчивость экосистем и приводить к их деградации. Индивидуальная потребность гидробионтов в металлах очень мала, а поступление их из окружающей среды часто избыточно, что может вызывать токсические эффекты и нарушение жизнедеятельности организмов на всех уровнях развития [11, 27].

Рыбы – важнейший и наиболее чувствительный биотический компонент водных экосистем. В пресных водоемах они, как правило, занимают верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью накапливать различные соединения, в том числе токсичные. Это свойство позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов для оценки уровня загрязнения водоемов и качества поверхностных вод. Аккумуляция токсичных элементов создает опасность для здоровья человека при употреблении промысловых объектов в пищу [5, 8, 13, 27].

Амур – одна из крупнейших рек в мире. Международный статус и активное использование акваторий бассейна Амура привели к ряду экологических проблем, привлекающих внимание ученых разных стран, в то время как химический состав поверхностных вод изучался и изучается относительно детально; микроэлементный состав вод и гидробионтов исследуется гораздо хуже [22].

В связи с этим целью работы является оценить уровни содержания микроэлементов в органах рыб семейства карповых (Cyprinidae) из реки Амур.

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

² Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

Материалы и методы

Объектом исследования явились половозрелые рыбы семейства карповых (*Cyprinidae*), выловленные летом 2021 г. на базе рыболовных зон Троицкого рыбоперерабатывающего комбината, нижнее течение Амура (табл. 6.1, рис. 6.1).

Таблица 6.1

Основные характеристики объектов исследования

Вид рыбы	Число особей	Длина, см*	Масса тела, г*
Карась серебряный (<i>Carassius gibelio</i>)	10	<u>27–31</u> 28±1	<u>320–480</u> 382±47
Толстолобик белый (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	10	<u>48–56</u> 53±2	<u>950–1470</u> 1289±170
Краснопер монгольский (<i>Chanodichthys mongolicus</i>)	10	<u>47–63</u> 54±6	<u>680–1800</u> 1183±309

Примечание: «*» – диапазон, min–max (числитель); среднее значение ± стандартное отклонение (знаменатель).



Рис. 6.1. Карта-схема отбора рыб

Карась серебряный (*Carassius gibelio*) имеет длину тела 45 см и массу более 2 кг. Обычно встречаются рыбы длиной 15–20 см и массой 200–350 г. Современный ареал охватывает Евразию и Америку от Испании и Франции до Дальнего Востока; встречается по всем пойменным и русловым участкам Среднего и Нижнего Амура. Карась серебряный обитает в реках и озерах, водохранилищах и прочих пойменных водоемах; предпочитает неглубокие, хорошо прогреваемые участки с илистым грунтом и хорошо развитой водной растительностью. Эврифаг ведет придонный образ жизни; питается моллюсками, хироминидами, гаммаридами, растительностью; при недостатке пищи может перейти на питание планктоном. Нерест карася в разных частях бассейна Амура начинается в мае;

последние особи заканчивают его в августе. Нерестится он на мелководных участках глубиной 0,7–1,0 м при прогреве воды до 15 °С и выше; икру откладывает на прошлогоднюю и вегетирующую растительность. Нерест порционный; за лето карась выметывает от 4 до 5 порций икры. Его плодовитость – от 90 до 650 тыс. икринок. Карась является ценным объектом рыбоводства, промысла и любительского лова [1].

Толстолобик белый (*Hypophthalmichthys molitrix*) способен достигать 1 м в длину; имеет массу до 20 кг. Нативный ареал – континентальная часть Азии от бассейна Амура на севере до Янцзы и Сицзяна на юге. В Амуре он распространен от р. Кумара до п. Тыр, включая озера, нижние части рек Зея, Сунгари, Усури. Толстолобик белый – типичный фитопланктофаг. Основу питания ранней молоди длиной 8–9 мм составляют коловратки, низшие ракообразные и водоросли. У молоди длиной 13–15 мм основу пищи составляют низшие ракообразные, изредка попадаются личинки хирономид. Начиная с 15,5 мм молодь белого толстолобика целиком переходит на питание планктонными водорослями. У взрослых рыб в кишечнике фитопланктон составляет не менее 95 %, так как особенности анатомического строения пищеварительного тракта не позволяют питаться другим кормом. Икрометание порционное, происходит ежегодно. Нерестилища располагаются на косах с песчаным и каменистым дном на течении. Плодовитость – 300–500 тыс. икринок. Толстолобик белый является ценным объектом промышленного рыболовства [1].

Краснопер монгольский (*Chanodichthys mongolicus*) имеет длину тела 54 см, массу 2 кг. Средняя длина в уловах – 30–33 см, масса – 0,5–0,6 кг, самок – 35,8 см и 0,70 кг, самцов – 33,7 см и 0,55 кг. Краснопер распространен в бассейнах рек Амур (с Сунгари), Хуанхэ и Янцзы-цзяна. В бассейне Амура он обитает в верхнем и нижнем течениях р. Усури и оз. Ханка; широко распространен от оз. Буир-Нур до р. Амгунь, включая южные притоки [3, 4, 25]. Краснопер – пелагический хищник. Основу питания молоди на первом году жизни составляют низшие ракообразные, креветки и личинки рыб. Выделяется три этапа питания молоди: при длине до 5 см в пище преобладают низшие раки, до 8 см – низшие раки, креветки, рыбы, личинки хирономид, с 8 см основу питания составляют креветки, рыбы и личинки хирономид. Впервые созревающие рыбы питаются еще преимущественно креветкой. Основу питания взрослого монгольского краснопера составляет преимущественно рыба (от 75 до 100 %), представленная в оз. Ханка почти исключительно востробрюшкой [14]. После созревания икрометание происходит ежегодно. Икра откладывается на растения в местах, где есть течение. Потенциальная плодовитость крупных самок монгольского краснопера длиной 38,0–42,5 см составляет до 100 тыс. икринок. Краснопер является объектом промышленного, любительского и спортивного рыболовства [1].

Подготовку органов рыб к атомно-абсорбционному определению токсичных элементов проводили методом кислотной минерализации в соответствии с ГОСТ 26929–94 [6]. Определение Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, Pb и As выполняли с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-7000 с электротермическим атомизатором с графитовой печью GFA-7000 (Shimadzu). Точность измерения концентрации элементов контролировали с помощью анализа стандартных образцов; загрязнение реактивов – с помощью холостых проб.

Для проверки точности метода для каждого элемента анализировали сертифицированный эталонный образец устричной ткани SRM – 1566B (National Insti-

tute of Standards and Technology (NIST)). Пределы обнаружения (LOD) были рассчитаны как $3 \times SD$ (стандартное отклонение 12 образцов).

Статистический анализ осуществляли с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics 21 для Windows 10.

Результаты и обсуждение

Допустимые уровни содержания тяжелых металлов и мышьяка в России определяются нормативными документами, контролирующими безопасность пищевой продукции: СанПиН 2.3.2.1078-01 [16] и Техническим регламентом Таможенного союза 021/2011 [18]. Предельно допустимые уровни содержания токсичных элементов (ПДУ) в пресноводных рыбах составляют, мг/кг сырой массы: Pb – 1,0; Cd – 0,2 (мышцы), 0,7 (печень), 1,0 (икра и гонады); As – 1,0.

В таблице 6.2 представлены результаты определения элементов в органах исследованных видов рыб, выловленных в нижнем течении Амура.

Таблица 6.2

Средние концентрации микроэлементов в органах рыб (среднее $\pm$ стандартное отклонение), мг/кг сырой массы

Органы	Элементы							
	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Pb	Cd	As
Карась серебряный (<i>Carassius gibelio</i>)								
Мышцы	11,16 $\pm$ 1,82	4,82 $\pm$ 0,32	2,96 $\pm$ 0,37	0,58 $\pm$ 0,11	0,08 $\pm$ 0,01	0,57 $\pm$ 0,33	0,04 $\pm$ 0,04	0,33 $\pm$ 0,03
Печень	16,47 $\pm$ 2,14	4,66 $\pm$ 0,25	7,41 $\pm$ 0,32	0,66 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,01	0,58$\pm$0,45	0,21 $\pm$ 0,15	0,39 $\pm$ 0,17
Икра	15,61 $\pm$ 1,07	4,50 $\pm$ 0,41	7,37 $\pm$ 0,40	0,67 $\pm$ 0,03	0,13 $\pm$ 0,01	1,73$\pm$0,67	0,04 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,02
Гонады	14,38	3,94	3,76	0,59	0,12	1,7*	0,06*	0,28*
Толстолобик белый (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)								
Мышцы	9,14 $\pm$ 0,98	3,44 $\pm$ 0,32	1,67 $\pm$ 0,12	0,54 $\pm$ 0,10	0,11 $\pm$ 0,02	н/о	0,03 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,02
Печень	13,89 $\pm$ 1,46	4,65 $\pm$ 0,77	7,71 $\pm$ 1,10	0,64 $\pm$ 0,06	0,14 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,14	0,09 $\pm$ 0,03	0,30 $\pm$ 0,03
Икра	–	–	–	–	–	–	–	–
Гонады	11,85 $\pm$ 1,34	4,34 $\pm$ 0,37	4,65 $\pm$ 1,87	0,63 $\pm$ 0,05	0,14 $\pm$ 0,02	0,1 $\pm$ 0,12	0,03 $\pm$ 0,01	0,33 $\pm$ 0,04
Краснопер монгольский (<i>Chanodichthys mongolicus</i>)								
Мышцы	10,47 $\pm$ 1,28	3,29 $\pm$ 0,08	1,58 $\pm$ 0,21	0,37 $\pm$ 0,16	0,11 $\pm$ 0,02	н/о	0,03 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,02
Печень	14,63 $\pm$ 1,67	3,88 $\pm$ 0,80	5,89 $\pm$ 1,59	0,56 $\pm$ 0,17	0,16 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,03	0,05 $\pm$ 0,02	0,33 $\pm$ 0,02
Икра	13,32	4,42	3,53	0,61	0,1	0,3*	0,03*	0,32*
Гонады	12,11 $\pm$ 0,94	4,31 $\pm$ 0,34	2,51 $\pm$ 0,33	0,37 $\pm$ 0,13	0,14 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,09	0,03 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,02

Примечание: «–» – нет данных; жирный шрифт – максимальные концентрации превышали допустимые уровни, «*» – исследована одна проба.

Известно, что рыбы различных экологических групп обладают собственной спецификой в отношении накопления микроэлементов. Так, уровни содержания элементов в органах рыб зависят от типа их питания и интенсивности обменных процессов [12]. Карась – бентофаг; основу питания составляют донные организмы и детрит. Толстолобик – фитопланктонофаг, а краснопер является типичным хищником, занимая вершину пищевой цепи.

Известно, что органы, отвечающие за процессы секреции, экскреции, репродукции и депонирования веществ в организме рыб, отличаются повышенными концентрациями элементов. Мышцы рыб имеют несколько меньшие концентрации микроэлементов, составляя около 50 % массы тела; содержат большую часть элементов, находящихся в рыбе [10].

Железо отличалось наибольшими концентрациями в органах исследуемых видов рыб. Являясь биогенным элементом, железо принимает участие в важных биохимических процессах. Высокое содержание железа в органах карася, толстолобика и краснопера соотносится с его относительно высоким содержанием в компонентах водной среды и определяется его биологической ролью [9].

Цинк присутствует во всех организмах, входит в состав многих ферментов, влияет на рост клеток, участвует в синтезе белка [20]. Помимо его биологической роли, Zn является трассером антропогенного воздействия. Можно предположить, что несколько повышенный уровень содержания цинка в мышцах карася по сравнению с толстолобиком и красноперкой связан с адаптацией к условиям существования. Карась предпочитает водоемы со стоячей водой или замедленным течением, что предполагает постоянный дефицит кислорода. Следовательно, несколько повышенное содержание Zn как составной части дыхательных и гликолитических ферментов необходимо для осуществления нормальной жизнедеятельности.

Медь – истинный биоэлемент, необходимый для протекания многих жизненных функций организмов. Аналогично цинку медь является свидетелем антропогенного воздействия и присутствует во всех хозяйственно-бытовых стоках. Однако несколько повышенные концентрации меди в органах карася, толстолобика и краснопера могут отражать геохимическую особенность региона, так как донные отложения р. Амур обогащены цинком, медью и свинцом.

Марганец присутствует во всех живых организмах, принимает участие в регуляции активности ферментов. Основываясь на литературных данных [9], можно предположить, что низкие уровни содержания марганца в органах исследуемых видов рыб обуславливаются его высоким окислительным потенциалом.

Никель – неэссенциальный элемент, но почти постоянно присутствующий в органах и тканях организмов [19]. В целом никель равномерно распределен между органами амурских рыб, а его низкие концентрации указывают на отсутствие техногенного загрязнения.

Сравнительный анализ содержания токсичных элементов показал, что суммарные концентрации по всем органам находились в порядке карась>толстолобик>краснопер> $p \leq 0,05$. Обнаруженные концентрации токсикантов не превышают ПДУ для пищевой продукции (СанПиН 2.3.2.1078-01; ТР ТС 021/2011), за исключением свинца в печени, карася серебряного (рис. 6.2). Повышенный уровень содержания микроэлементов в органах бентосоядных рыб является следствием суммации эффектов накопления из воды, донных отложений и поедаемой ими пищи [12].

Поступление поллютантов в воды нижнего течения Амура вызвано рядом естественных и антропогенных факторов, в частности стоками жидких отходов из крупных промышленных центров, антропогенным воздействием, атмосферным переносом и ландшафтными особенностями территории бассейна [27]. Попадая в водоем, основная часть токсичных элементов переходит в донные грунты. В результате в донных отложениях накапливаются высокие concentra-

ции загрязняющих веществ [15]. В нижнем течении Амура накопление происходит весной (май) и осенью (октябрь), при этом летом (июнь) содержание элементов незначительно [23]. Можно предположить, что повышенные концентрации свинца в органах карася серебряного связаны с его образом жизни и типом питания.

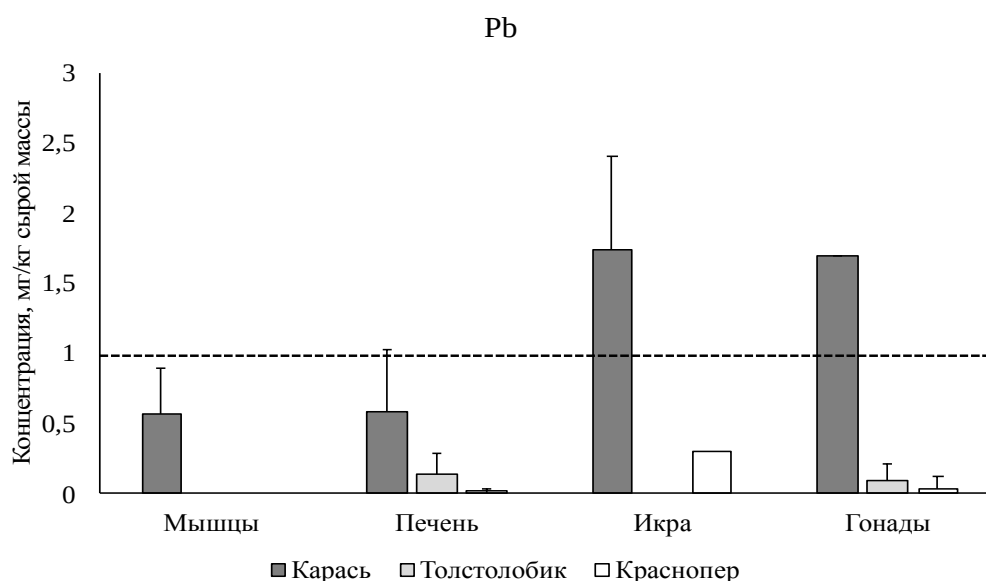


Рис. 6.2. Концентрации свинца в органах амурских рыб (среднее $\pm$ стандартное отклонение), мг/кг сырой массы: пунктирная линия – допустимый уровень (1,0)

Известно, что свинец – трассер техногенного воздействия [20], но в случае с Амуром не все так однозначно. С поверхности водосбора поступают глинистые компоненты и автохтонное органическое вещество, обогащая донные отложения свинцом, цинком и медью [23]. Следовательно, повышенные концентрации свинца в органах карася серебряного также могут отражать и геохимическую особенность региона.

В бассейне Амура уже было проведено несколько исследований микроэлементного состава амурских рыб [24]. Сравнительная оценка накопления тяжелых металлов в мышцах карася серебряного представлена на рис. 6.3.

Результаты сравнительного анализа показывают, что в настоящее время уровни содержания цинка в мышцах карася серебряного более чем в 3,5 раза ниже, чем 10 годами ранее. Однако концентрация меди, наоборот, возросла более чем в 3,5 раза. Содержание кадмия остается на идентичном уровне, в то время как концентрация свинца увеличилась в 19 раз, но не превышает ПДУ для пищевых продуктов. Из результатов становится ясно, что транспорт поллютантов в р. Амур носит хронический характер. Следует отметить, что в воду тяжелые металлы поступают не только со сточными водами, но и с территории водосбора как со всего бассейна, так и с притоками.

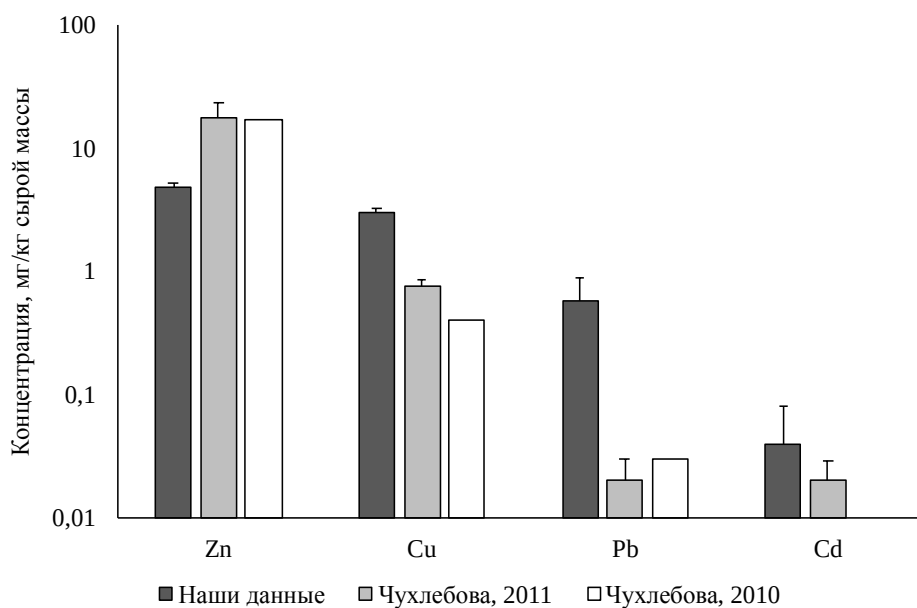


Рис. 6.3. Концентрации тяжелых металлов в мышцах карася серебряного (среднее $\pm$ стандартное отклонение), мг/кг сырой массы

Заключение

Авторами определены уровни содержания элементов (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Pb, Cd, As) в органах рыб семейства карповых (Cyprinidae) из реки Амур. Максимальные концентрации большинства элементов накапливаются в печени рыб, минимальные – в мышцах.

Концентрации элементов изменялись в органах рыб в следующем порядке:

- карась – Fe>Cu>Zn>Pb>Mn>As>Ni>Cd;
- толстолобик – Fe>Cu>Zn>Mn>As>Ni>Pb>Cd;
- краснопер – Fe>Zn>Cu>Mn>As>Ni>Cd>Pb.

Сравнение суммарных концентраций элементов в органах рыб показало особенности их содержания в связи с особенностями существования: карась>толстолобик>краснопер.

Содержание токсичных элементов в органах рыб семейства карповых из р. Амур не превышало предельно допустимых уровней, за исключением концентраций свинца в печени карася серебряного (*C. gibelio*), что, вероятно, связано с его придонным образом жизни и типом питания. Сравнительная оценка накопления тяжелых металлов в мышцах карася серебряного (*C. gibelio*) показала, что загрязнение Амура носит хронический характер.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Антонов, А.Л. Рыбы Амура / А.Л. Антонов, Е.И. Барабанчиков, С.Ф. Золотухин [и др.]. – Владивосток: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2019. – 318 с.
2. Аринжанов, А.Е. Загрязнение водоемов тяжелыми металлами / А.Е. Аринжанов, А.В. Сарычева; Оренбургский государственный университет //

Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01–03 февраля 2017 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 1494–1499.

3. Атаков, Е.П. Промысловые рыбы СССР. Описания рыб (текст к атласу цветных рисунков рыб) / Е.П. Атаков. – Москва: Пищепромиздат, 1949. – 793 с.

4. Богуцкая, Н.Г. Круглоротые и рыбы озера Ханка (система реки Амур): аннотированный список видов с комментариями по их таксономии и зоогеографии региона / Н.Г. Богуцкая, А.М. Насека. – Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 1997. – Вып. 3 (1996). – 89 с.

5. Вундцеттель, М.Ф. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб реки Яхромы / М.Ф. Вундцеттель, Н.В. Кузнецова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 155–158.

6. ГОСТ 26929–94. Межгосударственный стандарт «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов». – Москва: Изд-во стандартов, 1994.

7. Донец, М.М. Современные уровни загрязняющих веществ в промысловых объектах дальневосточных морей России / М.М. Донец, В.Ю. Цыганков // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2019. – № 4 (206). – С. 90–103.

8. Зубкова, В.М. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах разных видов рыб Волгоградского водохранилища / В.М. Зубкова, Л.А. Розумная, В.П. Болотов // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 93–97.

9. Ковековдова, Л.Т. Содержание химических элементов в органах трех видов морских рыб / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконов // Национальная ассоциация ученых. – 2020. – Т. 3, № 58. – С. 4–8.

10. Ковековдова, Л.Т. Оценка содержания металлов и мышьяка в донных отложениях и рыбах из рек бассейна залива Петра Великого (Японское море) / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконов // Известия ТИНРО. – 2010. – Т. 160. – С. 223–235.

11. Красноперова, Е.А. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в организме рыб семейства *Percidae*, *Cyprinidae*, *Esocidae*, *Siluridae* / Е.А. Красноперова, А.Р. Таирова // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях: I научно-практическая конференция. – Москва: Московский государственный строительный университет. – 2009. – С. 205, 206.

12. Лобанова, Т.А. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб / Т.А. Лобанова // Вестник КГУ. – 2008. – Т. 14, № 1. – С. 18–21.

13. Лопарева, Т.Я. Уровень накопления токсикантов в мышечной ткани рыб в водных бассейнах Республики Казахстан / Т.Я. Лопарева, О.А. Шарипова, Л.В. Петрушенко // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия Рыбное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 115–122.

14. Марковцев, В.Г. Пищевые цепи и формирование рыбной продукции в озере Ханка / В.Г. Марковцев // Вопросы ихтиологии. – 1978. – Т. 18 (6). – С. 1140–1144.

15. Моисеенко, Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты / Т.И. Моисеенко. – Москва: Наука, 2009. – 400 с.

16. СанПиН 2.3.231078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – Москва: Госкомсанэпиднадзор РФ, 2002. – 156 с.

17. Титов, А.Ф. Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с.
18. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». – Москва: Комиссия Таможенного союза, 2011. – 265 с.
19. Христофорова, Н.К. Сравнение микроэлементного состава кеты *Oncorhynchus keta Walbaum*, 1792 из японского и охотского морей / Н.К. Христофорова, А.В. Литвиненко, В.Ю. Цыганков, М.В. Ковальчук // Морской биологический журнал. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 92–104.
20. Христофорова, Н.К. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого / Н.К. Христофорова, В.М. Шулькин, В.Я. Кавун, Е.Н. Чернова. – Владивосток: Дальнаука, 1993. – 296 с.
21. Христофорова, Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами / Н.К. Христофорова. – Ленинград: Наука, 1989. – 192 с.
22. Чудаева, В.А. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур / В.А. Чудаева, В.П. Шестеркин, О.В. Чудаев // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 5. – С. 606–617.
23. Чухлебова, Л.М. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур / Л.М. Чухлебова, Н.В. Бердников // Региональные проблемы. – 2011. – Т. 14, № 1. – С. 54–58.
24. Чухлебова, Л.М. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб из приамурских водоемов / Л.М. Чухлебова, Н.М. Панасенко // Рыбоводство. – 2010. – № 11. – С. 59–63.
25. Bogutskaya, N.G. The fishes of Amur River: updated checklist and zoogeography / N.G. Bogutskaya, A.M. Naseka, S.V. Shedko (et al.) // Ichthyol. Explor. Freshwaters. – 2008. – Vol. 19, no. 4. – P. 301–366.
26. Donets, M.M. Trace elements in commercial marine organisms from the Russian part of the Northwest Pacific (2010–2018) / M.M. Donets, V.Y. Tsygankov // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 1727–1740.
27. Syasina, I.G. Assessment of the state of the gibel carp *Carassius auratus gibelio* in the Amur River Basin: heavy-metal and arsenic concentrations and histopathology of internal organs / I.G. Syasina, A.V. Khlopova, L.M. Chukhlebova // Archives of environmental contamination and toxicology. – 2012. – Vol. 62, no. 3. – P. 465–478.

Информация об авторах

Бизбородов Вячеслав Олегович, аспирант, Институт Мирового океана (Школа) Дальневосточного федерального университета (ДВФУ). E-mail: bizborodov.vo@mail.ru

Гамов Матвей Константинович, аспирант, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: gamovmota123456@gmail.com

Ковековдова Лидия Тихоновна, д-р биол. наук, профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: kovekovdova@mail.ru

Лях Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, заместитель директора по учебной работе, доцент Департамента пищевых наук и технологий, и.о. декана факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ, E-mail: lyah.va@dvfu.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, заведующий Лабораторией пищевой биотехнологии и инженерии, директор Департамента комплексных проектов, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», заведующий Лабораторией прикладной экологии и токсикологии, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 6. HEAVY METALS AND ARSENIC IN THE ORGANS OF FISH OF THE CARP FAMILY (CYPRINIDAE) OF THE AMUR RIVER

Vyacheslav O. Bizborodov¹, Matvey K. Gamov¹, Lidiya T. Kovekovdova¹, Vladimir A. Lyakh², Vasiliy Yu. Tsygankov^{1,2}

Abstract. *The levels of toxic elements (Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Pb, Cd, As) in the organs of Cyprinidae fish from the Amur River were determined. The maximum concentrations of most elements accumulate in the liver, the minimum – in the muscle. Concentrations of toxic elements (Pb, Cd, As) in fish organs are insignificant and do not exceed the permissible levels. The exception is the lead content in the liver, gonads, and eggs of Prussian carp, exceeding the permissible levels for food products.*

Keywords: *heavy metals; toxic elements; arsenic; fish; Amur River.*

Information about authors

Vyacheslav O. Bizborodov, postgraduate student, Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU). E-mail: bizborodov.vo@mail.ru

Matvey K. Gamov, postgraduate student, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: gamovmota123456@gmail.com

Lidiya T. Kovekovdova, Dr. Sci., Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: kovekovdova@mail.ru

Vladimir A. Lyakh, Ph.D., Deputy Director for Academic Affairs, Associate Professor of the Department of Food Sciences and Technologies, Acting Dean of the Faculty of Agro-Food Technologies and Food Engineering, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU, E-mail: lyah.va@dvfu.ru.

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Engineering, Director of the Department of Complex Projects, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", FEFU; Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Head of the Laboratory of Applied Ecology and Toxicology, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

¹ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 7. ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ВОДОТОКОВ

Т.С. Вшивкова^{1,2,3}

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-65-72>

Аннотация. Темпы урбанизации заметно возрастают с каждым десятилетием и создают множество проблем для человечества, в том числе экологических. Одна из главных – уменьшение биологического разнообразия, резкое сокращение численности видов. С увеличением техногенного воздействия на природные экосистемы процесс вымирания видов катастрофически ускорился. Биоразнообразие – основной ресурс и основа стабильности (гомеостаза) биосферы; испытывает антропогенное давление, которое начинает превышать негативные природные воздействия. Защита и восстановление биоразнообразия, его сохранение – главная задача нашего времени, единственный способ сохранить качество и непрерывность человеческой жизни на Земле. В Приморье проблема восстановления городских рек начинает привлекать внимание властей, ученых и общественности, что выражается в совместных проектах по ревитализации городских рек.

Ключевые слова: ревитализация; урбанистика; биоразнообразие; пресноводная биота.

Показатели урбанизации заметно увеличиваются с каждым десятилетием. В настоящее время больше половины населения Земли проживает в городах. К 2050 г., как считают ученые, общая численность населения составит 9,2 млрд и более 80 % будут проживать в городах. Общая площадь урбанизированной территории Земли составляет сейчас около 5 млн км², к 2070 г. она достигнет 19 млн км², т.е. около 13 % территории Земли и более 20 % непригодной территории суши будет занята городскими структурами. Процесс урбанизации поставил перед человечеством множество проблем, в том числе экологических. Одна из главных проблем – уменьшение биологического разнообразия, резкое сокращение числа видов. Видовое разнообразие, обусловленное длительным эволюционным процессом, является основой целостности экосистем и всей биосферы. Выпадение нескольких или даже одного вида может привести к нарушению структурно-функциональных связей в природных сообществах, к их деградации и даже полному разрушению. С увеличением техногенного воздействия на природные экосистемы процесс вымирания видов катастрофически ускорился с середины XX в. По некоторым данным, скорость вымирания составляет в среднем 36 тысяч видов в год; по сравнению с естественными эволюционными процессами вымирания видов в прошлом темпы их исчезновения выросли более чем в тысячу или даже в 10 тыс. раз. Биоразнообразие – основной ресурс и основа

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1..

² Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41.

³ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10

устойчивости (гомеостаза) биосферы; испытывает антропогенный пресс, который начинает превышать негативные природные воздействия. Защита и восстановление биоразнообразия, его сохранение – основная задача современности, единственный способ сохранить качество и непрерывность человеческой жизни на Земле [1].

Угрозы биоразнообразию на городских территориях

Развивающиеся города «захватывают» природную территорию видов, которые или приспосабливаются к новым условиям, или вымирают, проигрывая «войну» за территорию. Сохранение биоразнообразия в городах – это задача сохранения природных сообществ, которые формируют среду обитания и делают ее благоприятной для человека: регенерируют воздух и воду, смягчают микроклимат, обеспечивают психологический комфорт. Тенденция уменьшения числа видов на урбанизированных территориях следует общему тренду – от окраин к центру города, что связано с промышленным и транспортным загрязнением, повышением уровня застройки, наличием зеленых зон, возможностью добычи пропитания. При планировании развития города необходимо учитывать емкость сосуществующих с ним природных экосистем, которая определяется их способностью к регенерации изъятых ресурсов и к регенерации природных резервуаров – воздушного, водного бассейна, земель, а также мощностью потоков биогеохимического круговорота. Разумное планирование городской застройки с учетом экологических факторов развития мегаполиса ради сохранения биоразнообразия позволяет обеспечить сохранение привычных ниш, создание зеленых массивов, приемлемые условия существования для видов, толерантных к присутствию человека, регенерацию прилегающих природных экосистем. Доказано, что экономически и энергетически выгоднее сохранить нетронутыми «зеленые зоны», чем производить большие затраты на искусственное обеспечение комфортной среды для сохранения биоразнообразия в городе или на восстановление утраченных природных экосистем [2].

При разработке стратегий сохранения биоразнообразия на плотно заселенных территориях следует также учитывать принципиальное отличие урбанизированных ландшафтов от естественных в смысле формирования генетических паттернов – глубинной основы процесса передачи наследственной информации в процессе эволюции. В крупных природных популяциях естественных ландшафтов ведущая роль в сохранении постоянства генетической структуры популяций принадлежит *естественному отбору*. В мелких изолятах антропогенных ландшафтов преобладают случайные процессы и инбридинг, нарушающие это постоянство; на первое место выходит *дрейф генов*. Из этого следует, что главная проблема охраны биоразнообразия, состоящая в сохранении численности популяций и качества генофонда, не может быть решена человеком только с помощью территориальной охраны, так как она не может остановить процесс деградации генофонда популяций и распада системной организации видов, являющихся основой функционирования охраняемых экосистем. В урбанизированных ландшафтах для сохранения разнообразия видов необходимо учитывать процессы изменения популяционной структурированности видов, происходящие под воздействием человека. В этом может помочь геноурбанонология – направление экологической генетики, позволяющее эффективно и экономически выгодно

сохранять и восстанавливать генетический фундамент экосистем, используя наряду с территориальной охраной эколого-генетическую адаптационную стратегию повышения генетического разнообразия и устойчивости видовых популяций и экосистем в целом [3].

Ревитализация водотоков на урбанизированных территориях – первый шаг к зеленому будущему городов

Городские реки часто страдают от сильного антропогенного влияния, описываемого как «синдром городского потока», который характеризуется повышенными концентрациями органических и загрязняющих веществ, измененной морфологией русла, снижением биоразнообразия и повышенным доминированием толерантных видов [4].

«Восстановление» городских рек становится все более популярным инструментом для достижения целей управления урбанизированными экосистемами, начиная от видового разнообразия и заканчивая борьбой с наводнениями [5]. Проекты по восстановлению водотоков направлены на восстановление биологических, физических и химических процессов, которые связывают водные, прибрежные и наземные экосистемы [6]. Поэтому при реализации проектов по ревитализации городских водотоков должны учитываться все структурные элементы бассейна и все изменения антропогенного характера с целью их устранения или снижения их влияния на экосистему для формирования долгосрочной устойчивости восстановленных систем. Оценки успеха восстановления часто фокусируются на конкретных показателях в потоке, с ограниченным вниманием к более широкому бассейну или параллельным гидрологическим и геоморфологическим процессам. Однако следует учитывать, что водоток – это часть общей речной экосистемы, где все факторы и элементы системы находятся во взаимосвязи, поэтому при осуществлении проектов по восстановлению городских водотоков следует охватывать вниманием весь бассейн с выделением фоновых, не затронутых антропогенным влиянием участков и участков, находящихся в зонах импакта различного уровня. Всестороннее понимание процессов при восстановлении городских потоков особенно важно для сравнения с пригородными участками, поскольку «возрожденные» городские потоки могут обеспечить существенные вторичные выгоды для городских жителей [7].

В последние десятилетия международный и российский опыт сохранения биоразнообразия на урбанизированных территориях все чаще демонстрирует позитивные примеры. Это особенно хорошо видно при реализации проектов по восстановлению водотоков. Возрождение городских рек в азиатских и европейских городах следует популярному современному тренду «river as in nature», когда восстановление рек и обустройство прибрежий происходят в максимальном приближении к естественным природным образцам. Положительные примеры восстановления городских водотоков в «природоприближенном состоянии» можно найти в Японии, Китае, Сингапуре, Южной Корее, в западных странах [8]. Такие проекты требуют стратегического планирования, внимания к управлению крупномасштабными инвестициями. Как показывает опыт восстановительных проектов они часто становятся очень дорогими, длительными по реализации (табл. 7.1) [8]. Однако социально-экологический результат оправдывает все затраты.

Таблица 7.1

Примеры и стоимость проектов восстановления городских водотоков в мире

Время реализации	Название водотока	Страна	Длина участка, м	Стоимость проекта
1999	River Marden, Calne	Великобритания	100	Не известно
2000–2011	Isar River, Munich	Германия	8000	€ 35 000 000
2000–2005	Cheonggyecheon River, Seoul	Южная Корея	5800	US \$ 280 000 000
2003	Prut Barlad River Basin	Румыния	5500	€ 388 000
2007–2014	River Great Ouse	Англия	2000	€ 1,120 000
2009–2012	Kallang River	Сингапур	3500	€ 4,000 000
2009–2010	River Vidå, Tønder	Дания	1000	€ 1,370 000
2012–2014	Mayes Brook	Англия	1600	€ 3,800 000
2010	Ritobäcken Brook	Финляндия	800	€ 15 000

Для успешной реализации проектов по восстановлению городских водотоков необходимы: интеграция прибрежных территорий в архитектурно-ландшафтный каркас города; проведение мероприятий по оздоровлению экологического состояния не только водных объектов, но и наземных территорий; создание городских рекреационных пространств. Большую роль при реализации таких проектов играет правильно выстроенная политика сотрудничества муниципалитетов, общественности, науки и бизнес-структур.

В Приморье проблема восстановления городских рек только начинает привлекать внимание властей. Однако общественные организации, такие как НОКЦ «Живая вода», ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ» и др., совместно с учеными ДВО РАН начали действия по сохранению пресных вод еще с 2003 г. в рамках программы «Russian Clean Water Project», инициировав следующие проекты: «Обустроим родники вместе», «Исследование экологического состояния водотоков п-ова Муравьева-Амурский», «Ревитализация реки Вторая Речка» и др. [9].

При реализации проекта «Исследование экологического состояния водотоков и водоемов полуострова Муравьева-Амурского и разработка рекомендаций по их восстановлению» отмечено, что в большинстве водотоков, расположенных в центре мегаполиса Владивосток, качество воды на всем протяжении русла по гидрохимическим и микробиологическим показателям не соответствует норме. В водотоках, расположенных в окрестностях города, загрязнены в основном низовые или/и средние участки русел. Основные источники загрязнения – несанкционированные сбросы городской канализации, производственных и непроизводственных предприятий (школ, больниц, магазинов, бензозаправочных станций), ливневые стоки, а также (в загородной зоне) неочищенные стоки частного сектора, которые часто не используют локальные очистные сооружения.

Для успешной организации и выполнения восстановительных проектов необходимо: совместно с администрацией г. Владивостока, ФГУП «Водоканал» и другими муниципальными службами, отвечающими за состояние канализационной системы города и экологическое состояние окружающей среды, а также совместно с администрацией Приморского края (соответствующими департа-

ментами и отделами) провести инвентаризацию всех стоков, поступающих в водотоки и водоемы города и непосредственно в морскую акваторию; выявить незаконные источники и источники, в которых отмечено превышение ПДК загрязняющих веществ; принять соответствующие меры по наведению порядка. Самый эффективный путь оздоровить реки – ликвидация источников неочищенных стоков, в том числе нелегальных. Реки способны восстанавливаться за счет процессов самоочищения – им нужно только в этом помочь.

Институты ДВО РАН, ДВФУ, ВВГУ, Дальрыбвтуз и общественные экологические организации Приморского края, а также школы города, вовлеченные в проект по мониторингу пресных вод, готовы принять участие в совместной работе с государственными структурами в части проведения биоиндикационных работ и химико-микробиологической оценки. И такие работы уже проводятся [10]. Создание межведомственной группы по организации и проведению исследований экологического состояния водотоков и водоемов агломерации Владивостока на базе Международного центра экологического мониторинга ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, совместно с вузами и государственными ведомствами, осуществляющими надзор за состоянием поверхностных вод в Приморском крае, могло бы значительно ускорить и расширить научно-исследовательские работы по оценке качества речных вод, необходимые для эффективной организации ревитализационных работ.

Следует отметить, что исследования биоразнообразия пресноводной биоты агломерации Владивостока в последние годы активизировались. В результате ученые с удивлением обнаружили в городских водотоках и водоемах (практически в центре города) множество интересных, редких и краснокнижных видов [11–15], в том числе новых для Приморского края и даже новых для науки. Это свидетельствует о том, что нам есть что защищать и сохранять даже в условиях интенсивной урбанизации. Поэтому власти, науке и общественности следует объединиться и немедленно заняться организацией мероприятий по сохранению городских пресноводных экосистем, чтобы в будущем не вкладывать астрономические суммы на их восстановление.

Заключение

Обобщение мирового опыта по сохранению биоразнообразия на урбанизированных территориях поможет наметить приоритетные направления в этой области при практической реализации восстановительных проектов. С внедрения положительной практики восстановления городских малых рек следует начинать и планомерное управление природным комплексом города, что позволит значительно снизить экологическое напряжение в городской зоне. Задачи сохранения биоразнообразия и экологической ревитализации малых рек необходимо решать в комплексе с мероприятиями по благоустройству территорий, прилегающих к водным объектам. Проекты по восстановлению городской среды должны проводиться одновременно с организацией научно-исследовательских работ по оценке биоразнообразия на импактных и фоновых территориях, которые могли сохраниться как в окрестностях города, так и на «островных», нетронутых участках внутри городской инфраструктуры. Такие «изначальные» экосистемы, примеры сохранившихся оригинальных биот, существовавших до антропогенного давления, позволят выявить тренд изменений биоразнообразия в городских экосистемах и подсказать путь к восстановлению утраченных при-

родных первообразов. Агломерация Владивостока – столицы Дальневосточного региона РФ – должна стать примером нового отношения к городским территориям, цель которого – сохранение существующего биоразнообразия и восстановление утраченного, что является делом более сложным и затратным.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества № 18-2-011758 и 19-2-023124 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000147-6).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Розенберг, Г.С. Стратегии сохранения биоразнообразия территорий разного масштаба: международный аспект / Г.С. Розенберг, Л.М. Кавеленова, Н.В. Костина [и др.] // Биосфера. – 2021. – Т. 13, № 1-2. – С. 1–8.
2. Мелехова, О.П. Сохранение биоразнообразия в промышленных и урбанизированных районах. В кн. Сохранение и восстановление биоразнообразия. Колл. авторов. – М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – 286 с.
3. Макеева, В.М. Геноурбаноология как методологическая основа сохранения биологических ресурсов / В.М. Макеева, А.В. Смуров // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1 (6). – С. 1354–1356.
4. Walsh, C.J. The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure / C.J. Walsh, A.H. Roy, J.W. Feminella [et al.] // Journal of the North American Benthological Society. – 2005. – № 24. – P. 706–723.
5. Bernhardt, E.S. Restoring Streams in an Urbanizing World / E.S. Bernhardt, M.A. Palmer // Freshwater Biology. – 2007. – Vol. 52. – P. 738–751.
6. Kauffman, J.B. An Ecological Perspective of Riparian and Stream Restoration in the Western United States. / J.B. Kauffman, R.L. Beschta, N. Otting, D. Lytjen // Fisheries. – 1997. – Vol. 22, no. 5. – P. 12–24.
7. Bain, D.J. Characterizing a major urban stream restoration project: Nine Mile Run (Pittsburgh, Pennsylvania, USA) / D.J. Bain, E.M. Copeland, V.N. Divers [et al.] // Journal of the American Water Resources Association (JAWRA). – 2014. – Vol. 50 (6). – P. 1–14.
8. Rivers by Design: Rethinking development and river restoration. A guide for planners, developers, architects and landscape architects on maximising the benefits of river restoration // Restoring Europe's Rivers. 2013. – URL: <http://www.museum.ru/M2054>
9. Вшивкова, Т.С. Проблемы загрязнения водотоков урбанизированных территорий и пути их решения на примере реки Вторая Речка (Владивосток, Приморский край) / Т.С. Вшивкова, Т.В. Никулина, С.В. Клышевская [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 43–59.
10. Вшивкова, Т.С. Оценка экологического состояния р. Вторая Речка по показателям макрозообентоса / Т.С. Вшивкова, Т.В. Никулина, К.А. Дроздов [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 60–70.

11. Вшивкова, Т.С. Ручейники (Insecta, Trichoptera) островов архипелага Императрицы Евгении (Владивосток, Приморский край) / Т.С. Вшивкова, К.А. Дроздов // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – Вып. 7. – С. 51–60.
12. Тесленко, В.А. Веснянки (Insecta, Plecoptera) в водотоках города Владивостока и его окрестностей / В.А. Тесленко // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – Вып. 7. – С. 227–233.
13. Тиунова, Т.М. Поденки (Insecta, Ephemeroptera) водотоков города Владивостока и его окрестностей / Т.М. Тиунова, Е.А. Горвая // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – Вып. 7. – С. 234–242.
14. Никулина, Т.В. Оценка состояния вод р. Вторая Речка по данным анализа перифитонных диатомовых сообществ (Владивосток, Приморский край) / Т.В. Никулина, Т.С. Вшивкова, Д.С. Чебан, В.П. Невельская // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 118–128.
15. Саенко, Е.М. Пресноводные моллюски рода *Buldowskia* (Bivalvia: Unionidae) в водоемах города Владивостока (Приморский край) / Е.М. Саенко // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. – 2021. – Вып. 25, № 1/2. – С. 106–115.

Информация об авторе

Вшивкова Татьяна Сергеевна, Ph.D., старший научный сотрудник лаборатории пресноводной гидробиологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН; заведующая научной лабораторией экологического мониторинга, Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет; доцент Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 7. PROBLEMS OF BIODIVERSITY CONSERVATION IN URBANIZED TERRITORIES: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND REGIONAL ASPECT OF URBAN WATERCOURSE RESTORATION RIVER

Tatyana S. Vshivkova^{1,2,3}

Abstract. *The rates of urbanization are increasing markedly every decade and creates many problems for humanity, including environmental ones. One of the main – is the decrease*

¹ Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

² International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University, 41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014, Russia.

³ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

in biological diversity, a sharp reduction in the number of species. With an increase in man-made impacts on natural ecosystems, the process of species extinction has catastrophically accelerated. Biodiversity, the main resource, and the basis of stability (homeostasis) of the biosphere, is experiencing anthropogenic pressure, which begins to exceed the negative natural impacts. The protection and restoration of biodiversity, its conservation is the main task of our time, the only way to preserve the quality and continuity of human life on Earth. In Primorye, the problem of restoring urban rivers is beginning to attract the attention of authorities, scientists, and the public, which is expressed in joint projects to revitalize urban springs and rivers.

Keywords: *revitalization; urban science; biodiversity; freshwater ecosystems.*

Information about authors

Tatyana S. Vshivkova, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Freshwater Hydrobiology, Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Science; Associate Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU); Head of the Scientific Laboratory of the Environmental Monitoring, International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

Глава 8. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ

Л.А. Гайко¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-73-82>

Аннотация. По данным наблюдений на пяти гидрометеорологических станциях, расположенных вдоль морского побережья Приморья, проведено исследование пространственно-временной структуры среднемесячной температуры воды и воздуха за период 1960–2020 гг. с целью выявления температурных особенностей района за три последних десятилетия (1991–2000; 2001–2010 и 2011–2020 гг.) на фоне базовой климатической нормы, вычисленной за тридцатилетний период, рекомендованный Всемирной метеорологической организацией (1961–1990), и являющейся показателем климатических колебаний. Сравнение аномалий среднемесячных температур за три последних десятилетия от базовой нормы показало, что отклонения температуры воды и воздуха на станциях в основном были выше базовой нормы, но происходили они не равномерно, а носили волнообразный характер. При исследовании межгодового хода температуры воды, и воздуха на всех станциях был выявлен положительный значимый линейный тренд. Полученные результаты подтверждают, что в современный период в этом регионе прослеживается тенденция роста температурного фона.

Ключевые слова: аномалии температуры; гидрометеорологическая станция; климатическая норма; температура поверхностного слоя морской воды; температура воздуха; температурный тренд.

В настоящее время климатологами всего мира отмечаются значительные положительные температурные аномалии на планете [1, 2]. Особое внимание уделяется региональным исследованиям, так как они конкретизируют общую картину климатических изменений [3–6]. Изучение изменчивости температурного режима вдоль побережья Приморского края, расположенного на границе самого большого материка – Евразия и самого большого океана – Тихого, весьма актуально. Такое соседство формирует особые климатические условия, определяемые взаимодействием океана и атмосферы, изучение которых в современный период глобального изменения климата представляет как практический, так и научный интерес. Существенное влияние на климат района оказывают холодное Приморское течение, ответвления теплого Цусимского течения, местная циркуляция вод, рельеф береговой линии и орografia местности [7–10].

Одним из показателей климатических колебаний является изменение так называемых «климатических норм», вычисленных за последовательные 30-летние периоды времени. В качестве базового периода усреднения климатических показателей Всемирной метеорологической организацией (ВМО) был рекомендован период в 30 лет (начиная с периода 1901–1930 гг.). В настоящее время в качестве базового периода усреднения климатических показателей – базовой климатической нормы – рекомендован период 1961–1990 гг. [11].

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН), 690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43.

В работе рассмотрены особенности температурного режима в прибрежной зоне Приморского края на рубеже веков на фоне многолетних наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) Приморья. Район изучения – прибрежная зона Приморского края, омываемая водами Японского моря и Татарского пролива, расположенная в умеренных широтах с муссонным характером атмосферной циркуляции [12].

Температура воды является важнейшей характеристикой морских водных масс, а температура нижнего слоя атмосферы является одним из важнейших показателей, используемых для описания современных изменений климата. По результатам мировых исследований [1, 2] последнее десятилетие прошлого века было самым теплым десятилетием столетия. Климатологами, занимающимися исследованием состояния земной климатической системы, было выделено несколько волн глобального потепления, в том числе период 1975–1995 гг. – начало «второй волны потепления» и период 1996–2010 гг. – развитие «второй волны потепления» [4].

Данное исследование является продолжением работ автора по изучению закономерностей пространственного распределения и временной изменчивости характеристик термической структуры океана и атмосферы вдоль побережья Приморья более трех десятилетий, что отражено в работах автора [13–16]. Ведение температурного мониторинга по данным наблюдений на сети ГМС в прибрежной зоне Приморского края позволило отметить, что последнее десятилетие прошлого века в прибрежной зоне Приморья также было самым теплым десятилетием столетия, а потепление в новом столетии происходит неравномерно, т.е. носит волнообразный характер.

Целью работы является исследование температурных особенностей прибрежных районов Приморья за три последних десятилетия (1991–2020) на фоне базовой климатической нормы (1961–1990).

Материалы и методы исследования

Работа основана на данных наблюдений за температурой приземного воздуха и поверхностной температурой воды, получаемых на пяти ГМС Приморского территориального управления по гидрометеорологии и контролю природной среды, расположенных в прибрежной зоне Приморья: ГМС Посыет, Владивосток и Находка – побережье зал. Петра Великого, Японского моря; ГМС Рудная Пристань – северо-западное побережье Японского моря и ГМС Сосуново – юго-западное побережье Татарского пролива.

В работе использованы данные о средних месячных температурах воды и воздуха вдоль побережья Приморского края за период с 1961 по 2020 г. Для исследования изменчивости температурного режима были выбраны три временных периода: 1-я – 1991–2000 гг., 2-я – 2001–2010 гг. и 3-я – 2011–2020 гг. декады. Для выявления особенностей изменчивости температурного хода рассчитывались отклонения температуры воды и воздуха для каждой декады от базовой климатической нормы. Для вычисления базовой нормы были рассчитаны среднемесячные значения температуры воды и воздуха для каждой станции за период 1961–1990 гг., рекомендованный ВМО [4]. Для каждой декады на каждой станции были вычислены среднемесячные значения температуры воды и воздуха, а затем их отклонения от нормы, т. е. от среднемесячных значений температуры за период 1961–1990 гг.

Для оценки термических ресурсов исследуемого района использовался метод построения графиков и таблиц; для оценки временной изменчивости температуры воды и воздуха использовались корреляционный и регрессионный анализы. Наличие линейного тренда определялось по величине коэффициента детерминации в зависимости от длительности ряда: для ряда 60 лет тренд на 5 %-м уровне значим при $R^2 \geq 0,0625$ ($p < 0,05$).

Межгодовая изменчивость температуры воды и воздуха за период наблюдений с 1960 по 2020 г.

Для изучения межгодовой изменчивости температуры на каждой станции были рассчитаны среднегодовые значения температуры воды и воздуха. По полученным данным были построены графики многолетней изменчивости температуры воды и воздуха и их трендовые составляющие (рис. 8.1). Представленные графики позволяют проследить характер изменения температуры воды и воздуха на станциях с 1960 по 2020 г. и провести сравнение хода кривых температур между собой.

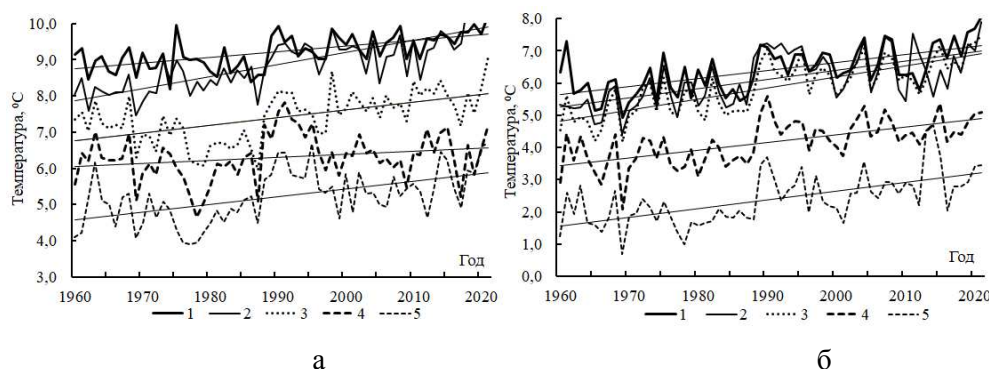


Рис. 8.1. Многолетняя изменчивость среднегодовой температуры воды (а) и воздуха (б) и их линейные тренды на ГМС Приморья:

1 – Посыет; 2 – Владивосток; 3 – Находка; 4 – Рудная Пристань; 5 – Сосуново

В ходе температуры воды и воздуха с начала 60-х гг. наблюдается тенденция роста температуры, которая носит волнообразный характер (см. рис. 8.1). Стоит отметить, что при этом соблюдается относительная синхронность в ходе кривых температур на всех станциях, причем на южных станциях, т.е. станциях, расположенных в зал. Петра Великого, кривые расположены довольно близко друг к другу, особенно с начала 90-х гг., следовательно, по своим значениям температура на этих станциях также отличается незначительно. Исключение составляет только ГМС Находка, на которой с начала 70-х вплоть до середины 80-х гг. температура воды стала резко понижаться, приближаясь по значению к кривой температуры на ГМС Рудная Пристань и войдя в синхронность с температурными кривыми ГМС Рудная Пристань и Сосуново. Причем на этих станциях, расположенных на побережье Восточного Приморья, также в этот период прослеживается понижение температуры с минимумом в 1987–1988 гг., но с 1989 г. на всех без исключения станциях произошел резкий рост температуры воды [15]. Несмотря на значительный рост температуры, ее величина на ГМС Находка оставалась значительно ниже, чем температура воды на ГМС Посыет и Владивосток.

Если проанализировать последние 30 лет, то очевидно, что волнообразный характер потепления проявляется довольно четко. После подъема температуры воды в начале 90-х гг. темпы потепления снизились. В ходе кривых температуры воды на ГМС Посьет и Владивосток прослеживается довольно тесная синхронность; между станциями Находка, Рудная Пристань и Сосуново синхронность прослеживается до начала 2000-х гг., а затем вплоть до 2015 г. ход температуры воды на ГМС Сосуново вошел в противофазу, но затем синхронность вновь возобновилась. Возможно, это связано со сложной системой течений в районе мыса Сосуново [12].

Ход кривых температуры воздуха демонстрирует большую синхронность, чем температуры воды. Четко прослеживается понижение температуры в начале 2000-х гг. на всех станциях, а затем происходит ее неравномерный рост вплоть до 2020 г. (см. рис. 8.1).

Значимый на 5%-м уровне положительный линейный тренд в ходе температуры воды выявлен на всех ГМС, за исключением ГМС Рудная Пристань, хотя и на этой станции линия регрессии имеет положительный наклон (табл. 8.1). В ходе температуры воздуха значимый положительный тренд выявлен на всех станциях, что указывает на стабильное потепление в рассматриваемый период в районе исследования.

Таблица 8.1

Коэффициенты полинома первой степени (А, В), аппроксимирующего трендовую составляющую температуры воды и воздуха за период с 1960 по 2020 г., и коэффициент детерминации (R²)

ГМС	Температура воды, °C			Температура воздуха, °C		
	А	В	R ²	А	В	R ²
Посьет	0,0159	8,7267	0,3764	0,0246	5,6279	0,3903
Владивосток	0,0336	7,8370	0,6015	0,0289	5,2195	0,4022
Находка	0,0213	6,7451	0,3215	0,0344	4,7949	0,5895
Рудная Пристань	0,0083	6,0428	0,0534	0,0237	3,4159	0,3951
Сосуново	0,0214	4,5474	0,2862	0,0271	1,5393	0,3802

Величина прироста межгодовой температуры воды по десятилетиям за период с 1960 по 2020 г. составила: на ГМС Посьет 0,11°C; Владивосток 0,34°C; Находка 0,21°C; Рудная Пристань 0,08°C и Сосуново 0,21°C / 10 лет; температуры воздуха – от 0,24°C на ГМС Рудная Пристань до 0,34°C / 10 лет на ГМС Находка.

Сравнение среднемесячных температур последнего десятилетия XX века и первых двух десятилетий XX века с климатической нормой

Рассмотрим, как менялась температура воды и воздуха в течение трех последних десятилетий. Для этого по каждому десятилетию были рассчитаны отклонения среднемесячной температуры воды и воздуха от нормы, т.е. от средних значений за базовый период (1961–1990). По полученным расчетным данным были построены графики отклонений температуры воды и воздуха на станциях от нормы для 1-й (1991–2000), 2-й (2001–2010) и 3-й (2011–2020) декад (рис. 8.2).

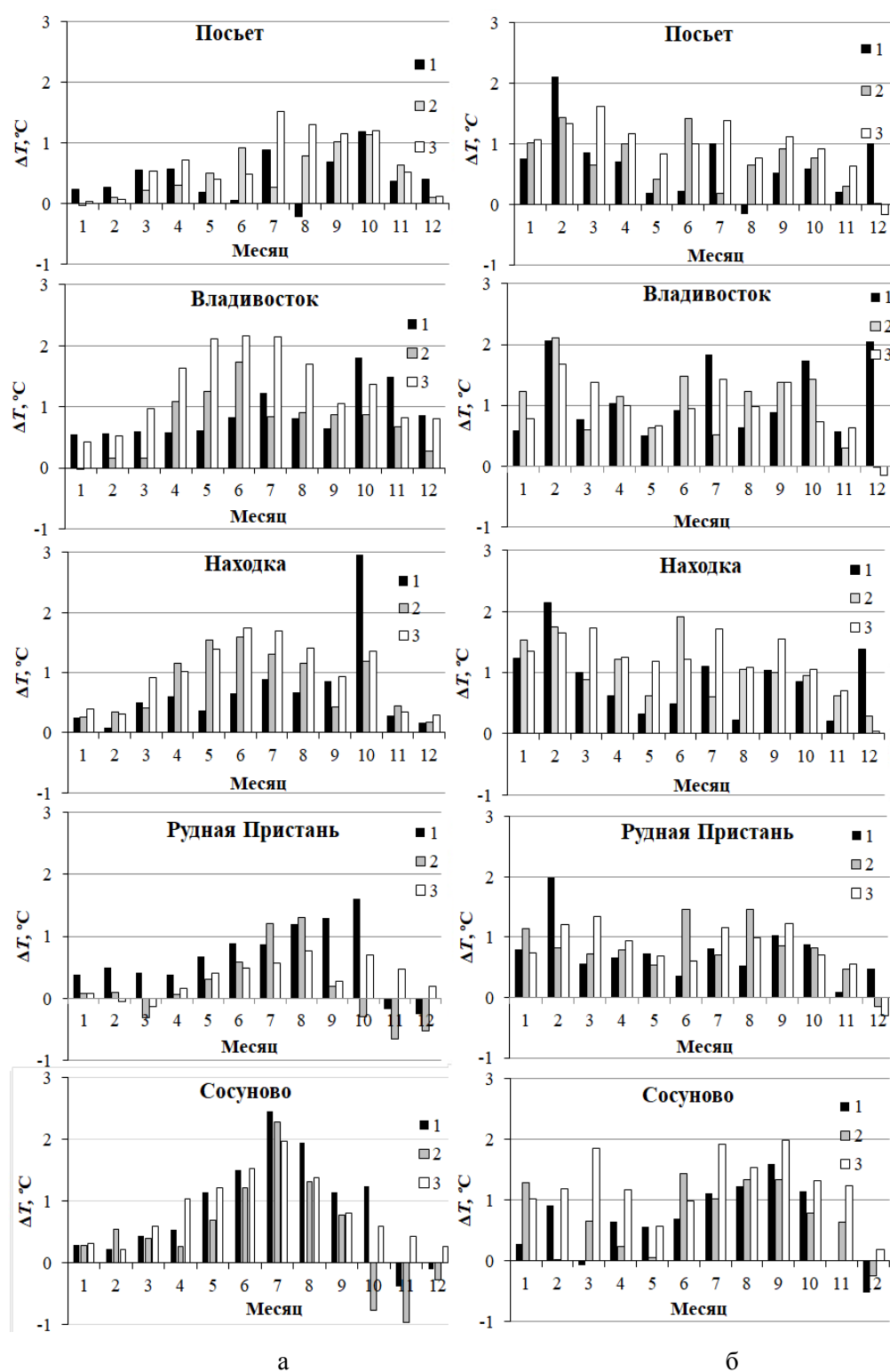


Рис. 8.2. Отклонения среднемесячной температуры воды (а) и воздуха (б) за периоды (1-й – 1991–2000 гг., 2-й – 2001–2010 гг. и 3-й – 2011–2020 гг.) от нормы (1961–1990) на ГМС Приморского края

Прежде всего можно отметить, что на всех станциях для всех трех декад в большинстве случаев преобладают положительные отклонения от нормы и для температуры воды, и для температуры воздуха, т.е. в целом за последнее тридцатилетие происходит процесс повышения температуры. Исключение составляют лишь некоторые, в основном зимние, месяцы, в которые происходило небольшое понижение температуры или «стояние» ее около нормы. На рис. 8.2а слева, приведены отклонения температуры воды на прибрежных станциях Приморья для трех последних десятилетий. Можно отметить, что наибольшее повышение температуры воды на южных станциях – ГМС Посыет, Владивосток и Находка в основном происходило в теплый период года в 3-ю декаду (2011–2020), а на станциях восточного побережья – ГМС Рудная Пристань и Сосуново – в 1-ю декаду (1991–2000). Значительные понижения температуры, в некоторые месяцы даже ниже нормы, отмечены на станциях восточного побережья в 1-ю и 2-ю декады с октября по декабрь. При этом на каждой станции можно выделить свои особенности в распределении температуры.

На ГМС Сосуново с января по сентябрь повышение происходило практически одновременно во все декады с максимумом в июле (на 2,4; 2,3 и 2,0 °C соответственно в 1–3-ю декады). Самое большое повышение температуры воды отмечено на ГМС Находка в 1-ю декаду в октябре (3,0 °C), а самое значительное понижение температуры воды произошло на ГМС Сосуново во 2-ю декаду в ноябре (–1,0 °C). Таким образом, повышение температуры воды на станциях за последние три десятилетия происходило неравномерно, что связано со сложным гидрологическим режимом района и особенностями рельефа береговой линии.

Распределение отклонений температуры воздуха (рис. 8.2б) по месяцам отличается от распределения температуры воды. Почти на всех станциях максимальный рост температуры воздуха отмечен в феврале 1-й декады (2,1 °C), за исключением ГМС Сосуново (0,9 °C). В декабре изменение температуры воздуха по декадам на станциях носит сложный характер. Так, в 1-й декаде на всех южных станциях отмечены значительные положительные отклонения с максимумом на ГМС Владивосток (2,0 °C), в то время как на станциях восточного побережья – всего 0,5 °C на ГМС Рудная Пристань, а на ГМС Сосуново – даже отрицательные отклонения (–0,5 °C). В декабре 2-й и 3-й декады картина распределения аномалий меняется, колебания температуры на всех станциях значительно уменьшаются и происходят с переменой знака. Так, во 2-ю декаду на ГМС Посыет и Владивосток температура воздуха опустилась до нормы, на ГМС Находка стала выше на 0,3 °C, а на ГМС Рудная Пристань и Сосуново – ниже нормы на 0,2 °C. В декабре 3-й декады уже и на ГМС Посыет и Владивосток температура опустилась ниже нормы (–0,2 °C), на ГМС Находка – стала около нормы, а на ГМС Сосуново, наоборот, повысилась (0,2 °C). Понижение температурного фона, по всей видимости, связано с усилением зимой западной периферии Сибирского антициклона [17] и со сложной орографией местности.

В целом по станциям самое значительное понижение температуры воздуха отмечено на ГМС Сосуново в 1-ю декаду в декабре (–0,5 °C), а самое большое повышение – в 1-ю декаду в феврале (2,1 °C) сразу почти на всех станциях (за исключением ГМС Сосуново) и во 2-ю декаду на ГМС Владивосток также в феврале (2,1 °C).

Сравнительный анализ сумм отклонений температур от нормы за год по каждой декаде показал, что на станциях потепление проходило неравномерно. Наибольшее повышение температуры воды на южных станциях произошло

в 3-ю декаду, наименьшее – на ГМС Посьет и Находка – в 1-ю декаду, а на ГМС Владивосток – во 2-ю (табл. 8.2). На ГМС Рудная Пристань, напротив, больше всего температура повысилась в 1-ю декаду, меньше всего – во 2-ю и в 3-ю. На ГМС Сосуново произошло практически одинаковое повышение температуры в 1-ю и 3-ю декады, а во 2-ю – почти в два раза меньше.

Таблица 8.2

Отклонения среднегодовой температуры воды и воздуха, осредненной за декады (1-ю – 1991–2000 гг.; 2-ю – 2001–2010 гг. и 3-ю – 2011–2020 гг.), от нормы (1961–1990) на ГМС Приморья

ГМС	Аномалии температуры воды, °С			Аномалии температуры воздуха, °С		
	1	2	3	1	2	3
Посьет	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	1,0
Владивосток	0,9	0,7	1,3	1,1	1,0	1,0
Находка	0,7	0,8	1,0	0,9	1,0	1,2
Рудная Пристань	0,6	0,2	0,3	0,7	0,8	0,8
Сосуново	0,9	0,5	0,9	0,6	0,7	1,2
Среднее за декаду	0,7	0,5	0,8	0,8	0,9	1,0

Наибольшее повышение температуры воздуха в среднегодовых значениях на всех станциях, кроме ГМС Владивосток, произошло в 3-ю декаду, а наименьшее – в 1-ю декаду. На ГМС Владивосток величина превышений во все три декады была почти одинаковой с превышением в 1-ю декаду на 0,1 °С (табл. 8.2).

При сравнении усредненных отклонений среднегодовых температур трех декад от нормы (1961–1990) на ГМС Приморья отмечено, что самой холодной по температуре воды была 2-я декада, а по температуре воздуха – 1-я декада, а самой теплой и по температуре воды, и по температуре воздуха стала 3-я декада (см. табл. 8.2).

Заключение

Во временном ходе среднегодовых значений температуры воды значимый на 5%-м уровне положительный линейный тренд выявлен на всех станциях, за исключением ГМС Рудная Пристань (хотя и на этой станции линия регрессии имела положительный наклон), а в ходе температуры воздуха – на всех станциях, что указывает на стабильное потепление в районе исследования за рассматриваемый период.

Среднедекадные температуры воды и воздуха в прибрежной зоне Приморья в конце прошлого и начале нынешнего века (1991–2000; 2001–2010 и 2011–2020 гг.) превышают стандартную климатическую норму (1961–1990) на всех станциях.

Самой холодной по температуре воды была 2-я декада (2001–2010), по температуре воздуха – 1-я декада (1991–2000), а самой теплой и по температуре воды, и по температуре воздуха была 3-я декада (2011–2020).

Колебания температурного фона, по всей видимости, связаны с общей и местной циркуляцией как атмосферы, так и прибрежных вод; на изменчивость

температуры значительное влияние также оказывают орография местности и изрезанность береговой линии.

В целом Приморье в многолетнем плане характеризуется ростом среднегодовых температур, а динамика температуры – устойчивым статистически значимым линейным трендом, т.е. в данном регионе вдоль всего побережья в период с 1960 по 2020 г. прослеживается тенденция повышения температуры воды и воздуха.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН, номер регистрации 121021700346-7. Автор выражает благодарность руководству и сотрудникам Приморского территориального управления по гидрометеорологии и контролю природной среды за представленные архивные материалы, а также благодарит рецензента за высказанные конструктивные замечания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge, United Kingdom. – N.Y. USA: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме. – Москва: Росгидромет, 2014. – 60 с.
3. Латышева, И.В. Современные изменения климата на территории Иркутской области / И.В. Латышева, Е.П. Белоусова, С.В. Олемской, К.А. Лощенко // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 110–125.
4. Морозова, С.В. Климатические изменения в Нижневолжском регионе на фоне глобального потепления (на примере Саратова) / С.В. Морозова, Н.Г. Левицкая, И.А. Орлова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 45–50.
5. Шкаберда, О.А. Оценка изменений температуры воздуха на Камчатке за последние 60 лет / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2013. – № 3. – С. 69–77.
6. Ростов, И.Д. Климатические изменения термических условий в тихоокеанской субарктике в условиях современного глобального потепления / И.Д. Ростов, Е.В. Дмитриева, Н.И. Рудых // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37, № 2. – С. 162–178.
7. Покудов, В.В. Температурный режим прибрежных вод Приморья и острова Сахалин по данным ГМС / В.В. Покудов, Н.А. Власов // Труды ДВНИГМИ. – 1980. – Вып. 86. – С. 109–118.
8. Юрасов, Г.И. Течения Японского моря. / Г.И. Юрасов, В.Г. Яричин. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. – 172 с.
9. Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина. – Санкт-Петербург: ГУНИО МО РФ, 1996. – 360 с.
10. Андреев, А.Г. Особенности циркуляции вод в южной части Татарского пролива / А.Г. Андреев // Исследование Земли из космоса. – 2018. – № 1. – С. 3–11.

11. Коршунова, Н.Н. Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия / Н.Н. Коршунова, Н.В. Швець // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2014. – № 178. – С. 11–24.
12. Климат Владивостока. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 248 с.
13. Gayko, L.A. Water and air temperature variability along the coast of Primorye (Japan/East Sea) / L.A. Gayko // Current Development in Oceanography. – 2012. – Vol. 5. – P. 49–58.
14. Гайко, Л.А. Изменение климата в прибрежной зоне Приморского края в современный период (северо-западная часть Японского моря) / Л.А. Гайко // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. – 2016. – № 10. – С. 35–42.
15. Гайко, Л.А. Температурные изменения воды и воздуха вдоль побережья Приморского края в современный период (северо-западная часть Японского моря) / Л.А. Гайко // Вестник Северо-восточного научного центра ДВО РАН. – 2019. – № 2. – С. 29–37.
16. Лысенко, А.В. Влияние гидрометеорологических условий на динамику вылова (численности) приморской горбуши *Oncorhynchus Gorbuscha* (Salmonidae) на основе ретроспективных данных (Японское море, Татарский пролив) / А.В. Лысенко, Т.А. Шатилина, Л.А. Гайко // Вопросы ихтиологии. – 2021. – Т. 61, № 2. – С. 206–218.
17. Шатилина, Т.А. Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. / Т.А. Шатилина, Г.Ш. Цициашвили, Т.В. Радченкова // Ученые записки РГГМУ. – 2019. – № 56. – С. 61–80.

Информация об авторе

Гайко Лариса Афанасьевна, канд. геогр. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидрологических процессов и климата, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН; доцент, Институт рыболовства и аквакультуры, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет «Дальрыбвтуз». E-mail: gayko@yandex.ru, gayko@poi.dvo.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 8. FEATURES OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE COASTAL ZONE OF PRIMORSKY KRAI AT THE TURN OF THE CENTURY

Larissa A. Gayko¹

Abstract. The spatial-temporal structure of the monthly average water and air temperature was analyzed based on the data obtained at 5 coastal weather stations for the period 1960–2020. The purpose of the study is to identify the temperature features of the area over the past three decades (1991–2000; 2001–2010 and 2011–2020) and compare them with the basic climatic norm calculated over the thirty-year period 1961–1990 (recommended by the World

¹ V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 43 Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia.

Meteorological Organization), which is an indicator of climatic fluctuations. Having been compared, the average temperature anomalies calculated by over the past three decades with the basic (1961–1990) climatic normal showed that both water and air temperature at the stations were mostly above the basic norm but occurred unevenly and were undulating. At present temperature rise in the region under study is characterized by a stable statistically significant positive linear trend, i.e., a tendency to temperature increase along the whole coast is observed.

Keywords: *temperature anomaly; coastal weather station; climatic normal; water temperature; air temperature; temperature trend.*

Information about authors

Larissa A. Gayko, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory Hydrological Processes and Climate, V.I.II'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS; Associate Professor of the Departments of Water Bioresources and Aquaculture, and of Ecology and Nature Management, Institute of Fisheries and Aquaculture, Far Eastern State Technical Fisheries University. E-mail: gayko@yandex.ru, gayko@poi.dvo.ru

Глава 9. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Ю.А. Галышева, А.Н. Яковлева¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-83-88>

Аннотация. Приводятся ключевые географические и природно-климатические особенности Северо-Восточной Азии, исторически обуславливающие очень высокое биологическое разнообразие данного региона. Перечислены яркие представители редких и исчезающих видов морских млекопитающих и животных, растений, водорослей.

Ключевые слова: биологическое разнообразие; охрана биоразнообразия; редкие виды; исчезающие виды; флора; фауна; реликты.

Биоразнообразие Азиатского региона в целом обусловлено рядом естественных причин, сложившихся исторически и связанных с географическим расположением и природно-климатическими особенностями [5].

Северо-Восточный Азиатский регион представляет собой, прежде всего, зону стыка континента и океана, где формируется «эффект экотона», обуславливающий увеличение пространственных и ресурсных возможностей для обитания животных и растений и в целом увеличивающий биологическое разнообразие в любом месте земного шара.

Специфичность дальневосточного региона, обширная переходная зона между морем и сушей, низменные участки и горные ландшафты, многообразные виды природопользования обеспечивают множественное сочетание природных и антропогенных систем, что позволяет рассматривать весь дальневосточный регион как особую контактную зону, важную для сохранения биоразнообразия [2].

Природные особенности

Надвигание китайской платформы на кайнозойскую складчатость на границе мезозой-кайнозой способствовало аридизации климата в восточном полушарии Земли. В результате сформировавшегося последнего глобального похолодания (четвертичное оледенение) на нашей планете усилилась выраженность климатической зональности, произошло переформирование ландшафтов [7].

Северо-Восточная Азия в настоящий геологический период располагается в нескольких климатических поясах (арктическом, субарктическом, бореальном, субтропическом), у каждого из которых свои природно-климатические комплексы, или биомы. На территории востока России, Китая, Японии, Монголии, Северной и Южной Кореи простирается около десятка природных территориальных биомов: тундра и тайга, умеренные широколиственные леса, умеренные степи и сухие степи, субтропические дождевые леса, горные леса, муссонные леса.

Четвертичное изменение климата затронуло север рассматриваемого региона, преобразовав территории Якутии, Чукотки, Камчатки, Магаданской области и частично Хабаровского края на территории России и «не дошло» до юга При-

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

морского края, не затронуло Японию, не распространилось на Корейский полуостров, восточный и юго-восточный Китай.

Вся совокупность биомов с их экосистемами, биоценозами и видами на огромной территории Северо-Восточной Азии относится к двум биогеографическим царствам суши: доминирующему по масштабу распространения Голарктическому (бореальному) царству и затрагивающему только самый юг региона Индо-Малайскому царству. Отметим, что многие представители (виды) Индо-Малайского биогеографического царства распространены в рассматриваемом регионе уже в пределах северных границ своих ареалов.

Морское и наземное биоразнообразие

В Северо-Восточном Азиатском регионе наблюдается очень высокое биологическое разнообразие морской и наземной флоры и фауны; встречаются как холодолюбивые и холодоустойчивые, так и теплолюбивые виды животных и растений. Наиболее яркие представители этих биогеографических царств: бурый и гималайский медведь, пятнистый олень и изюбрь, косуля, кабан, кабарга, горал, тигр и леопард, лисица, барсук, бурундук, фазан, куропатка, медведь панда, буйвол, летучая лисица и курносая обезьяна, белорукий гиббон, газель и двугорбый верблюд (хаптагай), китайский аллигатор, лиственница, сосна, пихта, ель, криптомерия, дуб, клен, береза, ива, граб, магнолия, лавр, бамбук, женьшень, аралия, гинкго, маньчжурский орех, дикий абрикос, вишня, пион, рододендрон, папоротники, бук, тис, можжевельник, орхидеи и др.

В биогеографическом отношении наземные биомы, их экосистемы и виды относительно молоды. Реликты (третичного периода) достаточно малочисленны; встречаются в южной части региона Северо-Восточной Азии, не затронутой четвертичным оледенением [4]. Например, реликты среди водных растений представлены видами, свойственными водоемам тропиков и субтропиков; в третичное время они обитали в северной Евразии, а ныне сохраняются здесь в изолированных местонахождениях с громадными дизъюнкциями ареалов. Таковой является бразения, обычная в тропической Азии, Америке и Австралии, у нас же растущая только на Дальнем Востоке – в Уссури и озере Ханка, а в ископаемом состоянии известная из третичных и межледниковых отложений Европы. Из тропических гидрофитов также интересны: евриала устрашающая, имеющая реликтовое местонахождение в бассейне Уссури; орехоносный лотос, ареал которого охватывает Северную Африку (Нил), Южный Китай, Индию, оторванные от этого ареала реликтовые местонахождения известны в Закавказье и опять же в Уссури и озере Ханка.

В отношении морской флоры и фауны в регионе в целом наблюдается очень высокое биологическое разнообразие (хотя и не максимальное для океана), что обусловлено указанными выше природно-климатическими причинами. В морскую часть региона Северо-Восточной Азии входят Бореально-Тихоокеанская и Тропико-Индо-Тихоокеанская области районирования Мирового океана.

Для Бореально-Тихоокеанской океанической области характерно доминирование бурых водорослей (макроцистис, нереоцистис, ламинариевые, фукусы и др.) и морских трав (зостера, филлоспадикс и др.). В донной фауне преобладают мидии, морские гребешки, макома, сердцевидка, десятиногие раки (крабы, креветки чилимы), кукумария и морские, ежи. Облик пелагических сообществ формируют веслоногие ракообразные (каланус тихоокеанский), кальмары, минтай, кета, горбуша,

чавыча, нерка, сельдь, сардина, морские медузы. Разнообразны морские млекопитающие: морской котик, сивуч, калан, японский кит, серый кит, дельфин, белокрылая морская свинья; на севере региона – морж.

В Тропико-Индо-Тихоокеанской области распространены сообщества мангров и коралловых рифов, которые встречаются на самом юге региона. Из водорослей доминируют саргассовые (саргассум и турбинария), зеленые (энтероморфа, ульва, бриопсис, хетоморфа) и морские травы (талассия, океания и др.). В водах тропических областей обитает большое количество видов планктонных фораминифер, крылоногих и килевоногих моллюсков, сифонофор, кольчатых червей, сальп и аппендикулярий. Обычны крупные акулы, летучие рыбы, меч-рыбы, парусники, скаты, морские черепахи, морские змеи, лангусты, жемчужницы (устрицы, тридакны), несколько видов гребешка. Из млекопитающих обычны белобрюхие тюлени, кашалоты.

Угрозы биоразнообразию

Природа не знает государственных границ, и популяции животных и растений распространяются на территориях нескольких государств, которые вместе несут ответственность за их успешность и будущее. Трансграничные ареалы в регионе Северо-Восточной Азии имеются у многих видов, в том числе у редких и исчезающих: амурского тигра и дальневосточного леопарда, кабарги и даурского журавля, женьшеня и гинкго. В отношении морских видов очень важной трансграничной зоной региона является приустьевая зона реки Туманной (Туманган), в которой стыкуются границы трех государств: России, Китая и Северной Кореи. В Японском море в целом наиболее четко выявляются трансграничные морские миграции, равно как и трансграничные эффекты антропогенного воздействия.

Собственно, трансграничное воздействие на окружающую среду региона, плохо юридически определенные зоны ответственности за нарушение экологического благополучия территорий и ликвидацию последствий являются первостепенно важной угрозой потери биологического разнообразия региона.

Важно отметить, что антропогенный пресс имеет в краткосрочном периоде времени более выраженное, чем климатические изменения, проявление своих последствий. История массового нелегального захода северокорейских рыболовных шхун в воды залива Петра Великого и незаконная добыча российских биоресурсов в 2020 г. – яркие тому примеры. Загрязнение вод реки Туманной и вынос поллютантов в трансграничную зону, залповое загрязнение притока р. Амур (р. Сунгари) и вынос высочайших концентраций хлорорганических соединений и других токсикантов в 2007 г. в Амурский лиман, многолетнее загрязнение озера Ханка и браконьерство на нем – другие, не менее яркие примеры трансграничных экологических угроз.

Крайне актуальной и масштабной угрозой биоразнообразию является проблема лесных пожаров в разных регионах России, но наиболее актуальна она на Дальнем Востоке и Сибири. Данному вопросу сейчас уделяется все больше внимания, но проблема существует и ежегодно угрожает большим природным территориям в Якутии, Хабаровском и Приморском краях.

Достаточно давно известной, однако ставшей неожиданной для региона угрозой стало цветение токсичных микроводорослей, в самом общем обиходе называемое «красным приливом». Угроза масштабно проявилась у берегов Кам-

чатки осенью 2020 г. и привела к массовой гибели морских беспозвоночных и в меньшей степени других групп гидробионтов. Цветение далее проявлялось еще несколько раз и было отмечено в 2020 и 2021 гг. у берегов Японии и в Амурском заливе территориальных вод России.

Сохранение биоразнообразия

На Дальнем Востоке России активно работают многие организации по изучению и сохранению редких исчезающих видов животных и растений, а также условий их обитания. Это и научные институты Дальневосточного отделения Российской академии наук, заповедники, национальные парки и другие особо охраняемые природные территории (ООПТ). В разных странах региона действуют программы по сохранению численности редких исчезающих видов и восстановлению их ареалов, осуществляемые различными научными и общественными центрами, а также международными экологическими организациями, такими как Международный фонд защиты природы, Всемирный фонд дикой природы и др.

Всемирный фонд дикой природы (WWF) на Дальнем Востоке России первым начал свои природоохранные проекты, посвященные сохранению популяции амурского тигра и других редких видов фауны – дальневосточного леопарда, тихоокеанских лососей, дальневосточного аиста, японского журавля, монгольского дзерена, калуги и др. [9].

В рамках Амурской экологической региональной программы WWF создан Амурский информационный центр для внедрения Плана действий по сохранению биоразнообразия, для объединения усилий общественных организаций, научных институтов и государственных структур [1].

Для управления природными факторами человек может применить, по крайней мере, систему мониторинга и предупреждения. Антропогенное воздействие государства обязаны регулировать для обеспечения устойчивого природопользования и сохранения биоразнообразия региона. В обоих случаях также важно развивать систему восстановления среды, сохранения и восстановления видов, их популяций и биоресурсов в целом.

В целях устойчивого развития региона ЮНЕСКО разработана межправительственная научная программа по созданию научной основы для укрепления отношений между людьми и окружающей их средой «Человек и биосфера» (МАВ) [6]. Важно отметить, что в самых южных водах Российской Федерации – юго-западной части залива Петра Великого – расположен единственный в России Морской заповедник, имеющий биосферный статус ЮНЕСКО, накладывающий на этот охраняемый район функцию сохранения частички биосферы, наиболее ярко представляющей свой регион в отношении сохранения биологического разнообразия.

На Дальнем Востоке России находятся три памятника Всемирного природного наследия ЮНЕСКО: «Вулканы Камчатки», «Центральный Сихотэ-Алинь», «Остров Врангеля». Все они являются уникальными, неповторимыми объектами исключительной природной красоты с богатством и разнообразием экосистем. Всемирная сеть биосферных резерватов содействует сотрудничеству между странами и представляет собой уникальный инструмент международного обмена знаниями и опытом, наращивания потенциала и продвижения передовой практики по охране природы [8].

С 2012 г. в Приморском крае во взаимодействии с ООПТ федерального значения, общественными организациями и фондами работает Межрегиональная общественная организация «Центр реабилитации и реинтродукции тигров и других диких животных». При ее содействии прошли реабилитацию более десятка особей амурского тигра, гималайских медведей, бурых медведей и других диких животных и птиц, попавших в беду, из которых большинство были выпущены в естественную среду обитания [1].

Важным событием, продвигающим идеи изучения и сохранения природы, стало открытие в 2016 г. на о. Русский во Владивостоке Приморского океанариума – одного из ведущих эколого-просветительских центров России.

Заключение

Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ) уже более 60 лет занимается вопросами изучения и сохранения биологического разнообразия на юге Дальнего Востока, являлся и является партнером и соисполнителем ряда важных региональных программ (проект «Туманган» (1990–2000), проект по оценке редких и исчезающих видов в зоне строительства газопровода (2000-е гг.), проект по оценке и сохранению численности моржа 2010-е гг., разработка программы ликвидации накопленного экологического ущерба б. Золотой рог (2017–2018) и многие другие).

В 2021 г. в составе ДВФУ был создан Институт Мирового океана (ИМО), сосредоточивший свои силы на изучении и сохранении ресурсов океана и прибрежных экосистем. ИМО активно работает с институтами ДВО РАН, администрациями регионов, учреждениями системы ООПТ, охранными центрами, является головной организацией в осуществлении программы по оценке восстановления морских экосистем юга Камчатки после вредоносного цветения микроводорослей в 2020 г., реализует дополнительные и, конечно, основные образовательные программы в области биологии и экологии, посвященные сохранению биологического разнообразия и эффективным технологиям мониторинга (в том числе сетевую и партнерскую магистратуру). В 2022 г. ИМО приступил к выполнению программы экологического мониторинга в Дальневосточном морском биосферном заповеднике, находящемся под управлением Национального парка «Земля леопарда» [3].

Усилия университета и его Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» направлены на оценку биологического разнообразия и состояния биотеннозов заповедных бухт морского заповедника и выработку (совместно с национальным парком «Земля леопарда») стратегии управления прилегающими к заповеднику зонами рекреации и туризма.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Амурский Информационный Центр. – Владивосток, 2022. – URL: <https://amurinfocenter.org/>
2. Бочарников, В.Н. Эколого-географическая оценка природных геосистем тихоокеанской России / В.Н. Бочарников, Е.Г. Егидарев // Тихоокеанская география. – Владивосток: Дальнаука, 2020. – № 4 (4). – С. 33–46.
3. Земля леопарда. – Владивосток, 2022. – URL: <https://leopard-land.ru/>

Глава 10. ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНАХ МАЛОГЛАЗОГО МАКРУРУСА (*ALBATROSSIA PECTORALIS*) КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

М.К. Гамов¹, Л.Т. Ковековдова¹, М.Д. Боярова², В.Ю. Цыганков^{1,3}

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-89-100>

Аннотация. Представлены диапазоны концентрации токсичных элементов As, Cd, Pb, Hg в органах гигантского макруруса (*Albatrossia pectoralis*) из Берингова моря. Показаны особенности распределения микроэлементов в органах макруруса. Содержание токсичных металлов и мышьяка не превышало предельно допустимых уровней. Наибольшие концентрации токсических элементов зарегистрированы в печени. На основании концентраций микроэлементов рассчитан индекс развития рака ILCR и индекс потенциального риска для здоровья человека HQ. Показатели рассчитаны для печени и мышц рыб. Употребление в пищу 0,08 кг мышечной ткани гигантского макруруса сопряжено с риском развития рака и потенциальным риском для здоровья человека.

Ключевые слова: малоглазый макрурус; Берингово море; токсичные элементы; оценка риска для здоровья.

Токсичные элементы (Pb, Cd, As и Hg) относятся к категории приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в морскую среду как из природных источников, так и под антропогенным воздействием. Загрязнение морской среды приводит к накоплению токсичных соединений в промысловых морских организмах, используемых человеком в пищу [1].

Макрурус малоглазый (*Albatrossia pectoralis*) – глубоководный вид, широко распространенный в северо-западной части Тихого океана; встречается на глубинах от 140 до 3500 м, формирует основу биоресурсов материкового и островных склонов дальневосточных морей и представляет большой интерес для рыбного хозяйства Дальнего Востока и всей России [2]. Мясо макрурусов характеризуется высоким содержанием белков и низким содержанием липидов, что делает их крайне привлекательным объектом для употребления в пищу [3].

В результате биоаккумуляции и биомagnификации может происходить постепенное накопление элементов в рыбе. Соединения мышьяка (As), кадмия (Cd), свинца (Pb) и ртути (Hg) считаются наиболее опасными из-за их высокой токсичности, которые даже в незначительных концентрациях могут отрицательно влиять на репродуктивную, нервную и иммунную системы человека и оказывать канцерогенное воздействие [4–6]. В связи с этим, необходим мониторинг содержания токсичных элементов в рыбной продукции и оценка ее качества [7].

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

² Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

³ Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

На сегодняшний день крайне мало работ, посвященных оценке накопления элементов в органах такого ценного промыслового объекта, как макрурус малоглазый (*Albatrossia pectoralis*).

Цель работы – оценить уровни содержания токсичных элементов в органах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*) и выявить потенциальные риски для здоровья человека.

Материалы и методы

Районы исследования и отбор проб. Образцы макруруса малоглазого были выловлены летом 2020 г. в акватории Берингова моря (рис. 10.1). Рыбу промысливали бидистиллированной водой, взвешивали, препарировали на органы и упаковывали в полиэтиленовые пакеты. До физико-химического анализа образцы хранились в морозильной камере при температуре – 20 °.

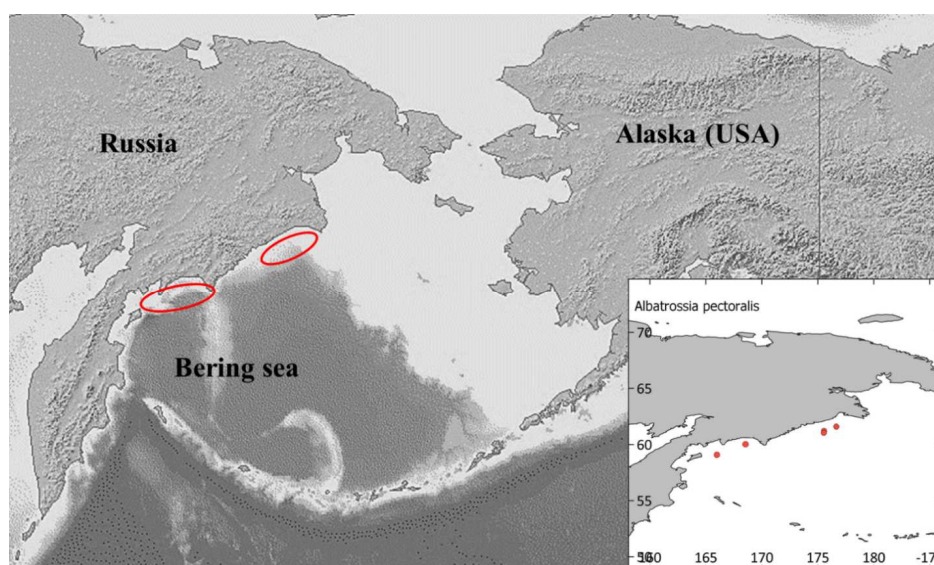


Рис. 10.1. Карта-схема отбора проб макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*) в акватории Берингова моря

Химический и инструментальный анализ. В лаборатории ткани разрезались керамическим ножом, чтобы избежать загрязнения режущим инструментом. Образцы гомогенизировали и отбирали по 0,5 г. Подготовку проб к атомно-абсорбционному определению элементов проводили методом микроволнового разложения (CEM, Inc. MARS Express®, Matthews, NC, USA) в соответствии с USEPA 3051. Определение Cd, Pb и As выполнялось с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-7000 с электротермическим атомизатором с графитовой печью GFA-7000 (Shimadzu).

Параметры режимов работы при определении элементов представлены в табл. 10.1. Точность измерения концентрации металлов контролировалась с помощью анализа стандартных образцов, загрязнение реактивов – с помощью холостых проб. Для атомизации использовалась графитовая кювета с ω-образной платформой, в качестве источника света использовались лампы с полым катодом. Для создания инертной среды использовался аргон высокой степени очистки (99,9999 %).

Таблица 10.1

Настройка параметров работы прибора для определения микроэлементов

Параметры	As	Cd	Pb
Длина волны, нм	193,7	228,8	283,3
Ширина щели, нм	0,7	0,7	0,7
Ток лампы, мА	12	8	10
Поток аргона, л/мин	0,10	0,10	0,10
Объем пробы, мкл	10	10	10
Температурные режимы, °C (время нагрева, с)			
1	60 (3)	60 (3)	60 (3)
2	120 (20)	120 (20)	120 (20)
3	250 (10)	250 (10)	250 (10)
4	600 (10)	500 (10)	700 (10)
5	600 (10)	500 (10)	700 (10)
6	600 (3)	500 (3)	700 (3)
7	2200 (3)	2000 (3)	2000 (3)
8	2500 (2)	2400 (2)	2500 (2)

Общую концентрацию ртути, мг/кг сырого веса, определяли методом инверсионной вольтамперометрии. Содержание этого элемента в минерализованных растворах проб определяли добавлением аттестованных смесей с фиксированным содержанием ртути (раствор нитрата ртути с концентрацией 1 мг/мл). Точность определения содержания элементов, а также возможное загрязнение образцов во время анализа контролировали путем сравнения с калибровочными растворами, в том числе с холостым (нулевым) раствором. Точность и прецизионность используемого метода были подтверждены регулярным анализом стандартного образца SRM-1566B (National Institute of Standards and Technology (NIST)).

Стандартные растворы Cd, Pb, As и Hg приготавливались с использованием HNO_3 (0,1 М). Калибровочные кривые получены для различных концентраций стандартных растворов, приготовленных из коммерческого исходного раствора 1000 мг/л (Экротхим).

QA/QC и LOD. Для проверки точности метода для каждого элемента анализировали сертифицированный эталонный образец устричной ткани SRM-1566B (National Institute of Standards and Technology (NIST)). Результаты представлены в табл. 10.2.

Каждое значение является средним из пяти определений SRM-1566B (National Institute of Standards and Technology (NIST)), устричная ткань.

Пределы обнаружения (LOD) были рассчитаны как $3 \times \text{SD}$ (стандартное отклонение 12 образцов).

Таблица 10.2

Наблюдаемые и эталонные значения, мг/кг сухой массы, в эталонном образце устричной ткани SRM-1566B

Элемент	Сертифицированные значения	Полученные значения	Восстановление, %	Пределы обнаружения (LOD)
Cd	2,48±0,08	2,36±0,06	95	0,005–0,006
Pb	0,308±0,009	0,298±0,04	97	0,04–0,05
As	7,65±0,65	7,51±0,15	98	0,05–0,06
Hg	0,0371±0,0013	0,0365±0,0011	98	0–0,0005

Оценка экологического риска для здоровья населения. Для оценки экологического риска рассчитывали коэффициенты опасности (HQ) и потенциального риска развития рака в течение жизни (ILCR). HQ показывает возможность возникновения острого отравления в течение года; ILCR указывает на увеличение вероятности развития онкологических заболеваний от поступления поллютантов в организм человека в течение всей жизни. Для расчета применяли международные стандартные методики [8–10].

HQ рассчитывали по формуле

$$HQ = \frac{EDI}{TDI},$$

где EDI – среднее употребление токсиканта с пищей, мг/кг в день; TDI – количество токсичного вещества, не вызывающее отравления у человека, мг/кг в день. При значении $HQ > 0,2$ существует потенциальный риск отравления.

Среднесуточное употребление (EDI) рассчитывали следующим образом:

$$EDI = \frac{C_{food} \cdot IR_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y}{BW \cdot 365 \cdot LE},$$

где C_{food} – концентрация токсиканта в пище, мг/кг; IR_{food} – среднее употребление пищи, кг/день (по данным Росстата, жители Дальнего Востока России потребляют в среднем 29 кг рыбы в год (90 г рыбы ежедневно)); AF_{GIT} – фактор адсорбции токсиканта в желудочно-кишечном тракте (принимается равным 1, если отсутствуют другие данные); D_d – количество дней, в которые происходит употребление загрязненной пищи; D_y – количество лет употребления загрязненной пищи (для расчета коэффициента опасности не учитывается и принимается равным 1, для расчета риска развития рака принимается равным 65 годам); BW – средний вес тела человека, кг (по данным Росстата, для населения Дальнего Востока средний вес тела составляет 70 кг); LE – средняя продолжительность жизни (по данным Росстата, для местного населения Дальнего Востока средняя продолжительность составляет 70 лет).

ILCR рассчитывали по формуле

$$ILCR = EDI \cdot SF_{oral},$$

где SF_{oral} – коэффициент, отражающий степень повышения риска развития рака при поглощении токсиканта, кг в день/мг. Если $ILCR > 1 \cdot 10^{-5}$, то существует потенциальный риск развития рака.

IR_{foods} получен из объединенных уравнений для расчета HQ и EDI:

$$IR_{food} = \frac{HQ \cdot TDI \cdot BW \cdot 365 \cdot LE}{C_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y}.$$

IR_{foods} получен из объединенных уравнений для расчета ILCR:

$$IR_{food} = \frac{ILCR \cdot BW \cdot 365 \cdot LE}{C_{food} \cdot AF_{GIT} \cdot D_d \cdot D_y \cdot SF_{oral}}.$$

Оценка допустимого потребления макруруса сводится к определению IR_{foods} при котором HQ или ILCR достигают опасных для здоровья значений ($HQ = 0,2$, $ILCR = 1 \cdot 10^{-5}$).

Статистический анализ. Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics для Windows 10. Достоверность различий полученных данных оценивали методом одностороннего дисперсионного анализа Крускала – Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Единица измерения всех результатов – мг/кг сырой массы.

Результаты и обсуждение

Уровни содержания Cd, Pb, As и Hg в органах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*)

Берингово море – самое большое из дальневосточных морей, омывающих берега России [11]. Интенсивной нагрузке подвергаются прибрежные части моря за счет промышленных и бытовых стоков. В отдельные годы в северную прибрежную часть поступали нефть и нефтепродукты, сернистые и сероводородсодержащие газы, минерализованные пластовые и сточные воды нефтепромыслов и бурения скважин, шламы бурения и др. [12]. Столь активная антропогенная нагрузка может негативно отражаться на микроэлементном составе морских организмов.

Хорошо известно, что металлы могут накапливаться в тканях рыб [13]. Величина биоаккумуляции зависит от возраста, вида и трофического переноса [14]. Концентрации токсичных и опасных для здоровья микроэлементов приведены в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Средние концентрации микроэлементов в органах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*), мг/кг сырой массы

Органы	As	Cd	Pb	Hg
Печень N = 26	0,026±0,025	0,251±0,067	0,033±0,024	0,051±0,021
Мышцы N = 26	0,073±0,045	0,031±0,046	0,009±0,017	0,043±0,012
Гонады N = 26	0,012±0,009	0,074±0,081	0,057±0,023	0,004±0,002

Примечание. ПДУ (ГР ТС 021/2011) токсичных элементов: в свежей, охлажденной и мороженой морской рыбе – Pb – 1,0, Cd – 0,20, As – 5,0, Hg – 0,5 мг/кг сырой массы; в икре и молоках рыб – As – 1,0, Cd – 1,0, Hg – 0,2 мг/кг сырой массы; в печени рыб – Cd – 0,7, Hg – 0,5 мг/кг сырой массы.

Концентрации токсичных элементов в органах макруруса не превышали предельно допустимых уровней.

Наибольшее содержание мышьяка отмечено в мышцах, свинца – в гонадах, кадмия и ртути – в печени. Распределение металлов в организме рыб характеризуется неравномерностью и зависит от функциональных особенностей органов, их кумулятивной активности и химических свойств самого металла [15]. Первое место по уровню содержания токсичных элементов (кадмий, свинец, мышьяк и ртуть) занимает печень, которая является функциональным «депо» этих элементов и одновременно участвует в процессах детоксикации; второе место – мышечная ткань, которую можно также отнести к депонирующим органам, если учитывать, что мышцы составляют большой процент от массы тела. [15]. Кадмий активно замещает кальций в клетках (через кальциевые каналы). Поступление кадмия в организм рыб происходит преимущественно из водной среды через жабры, которые играют большую роль в водно-солевом обмене, регулируя поглощение и выделение воды и солей [16]. Свинец у рыб накапливается преимущественно в жабрах, печени, почках и костях. В водоемах свинец может быть прочно адсорбирован частицами донных отложений, поэтому поступает в организм преимущественно через жабры либо вместе с пищей. В растворенном виде мышьяк встречается в формах As^{+3} и As^{+5} . Поглощение рыбами мышьяка из воды осуществляется через жабры и кишечник [17].

В морской воде ртуть может находиться в различных формах; преобладающими являются жирорастворимые метил- и диметилртуть. Данные соединения крайне токсичны и имеют свойства накапливаться в долгоживущей, крупной и жирной рыбе [18].

Концентрации мышьяка в печени находились в диапазоне от 0,0091 до 0,0325, в мышцах – от 0,0469 до 0,098, в гонадах – от 0,0038 до 0,0195 мг/кг сырой массы. Диапазоны концентраций кадмия в печени – от 0,2253 до 0,2943, в мышцах – от 0,0031 до 0,0482, в гонадах – от 0,0097 до 0,1511 мг/кг сырой массы (рис. 10.2).

Концентрации свинца в печени находились в диапазоне от 0,0177 до 0,0439, в мышцах – от 0,00005 до 0,0091, в гонадах – от 0,0355 до 0,0756 мг/кг сырой массы. Диапазон концентраций ртути в печени – от 0,0327 до 0,0666, в мышцах – от 0,0362 до 0,0499 ($0,043 \pm 0,012$), в гонадах – от 0,0027 до 0,0049 мг/кг сырой массы.

Мышьяк – биофильный и токсичный элемент. Он оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и на другие важные биохимические реакции [19]. Более высокая концентрация мышьяка в мышцах рыб, чем в печени, обусловлена взаимодействием элемента с тиоловыми группами белков, цистеина, глутатиона, липоевой кислоты. Мышцы рыб имеют относительно низкие концентрации микроэлементов. Это подтверждает у них наличие развитого механизма поддержания гомеостаза элементного состава мышц. Тем не менее мышцы, которые составляют в среднем около 50 % массы тела, как правило, содержат большую часть массы всех токсичных элементов [20].

Свинец оказывает влияние на энзиматические процессы рыб, является постоянной нормальной составной частью их органов и тканей [21]. В организме рыб этот микроэлемент накапливается незначительно, так как лишь малые дозы свинца необходимы для нормальной жизнедеятельности [22]. Свинец легко проникает в организм, концентрируясь в печени и почках. У тресковых рыб кумулятивный эффект наблюдается в гонадах. Другие органы тресковых характеризуются равномерным распределением свинца, что может свидетельствовать об

отсутствии избирательности их накопления по отношению к данному микроэлементу [23].

Кадмий является постоянным микроэлементом организма рыб. Накапливаясь во внутренних органах, его аккумуляция происходит преимущественно в жабрах, печени и почках, где он принимает участие в осморегуляторных процессах [24]. Наибольшее содержание кадмия отмечалось в печени. Это объясняется большим содержанием в печени специфичных низкомолекулярных белков с сульфгидрильными группами – металлотионеинов, которые способны связывать многие металлы, концентрируя их в органе. При этом кадмий обладает высоким сродством с металлотионеинами, поэтому его концентрация в печени в 8 раз выше, чем в остальных органах [25].

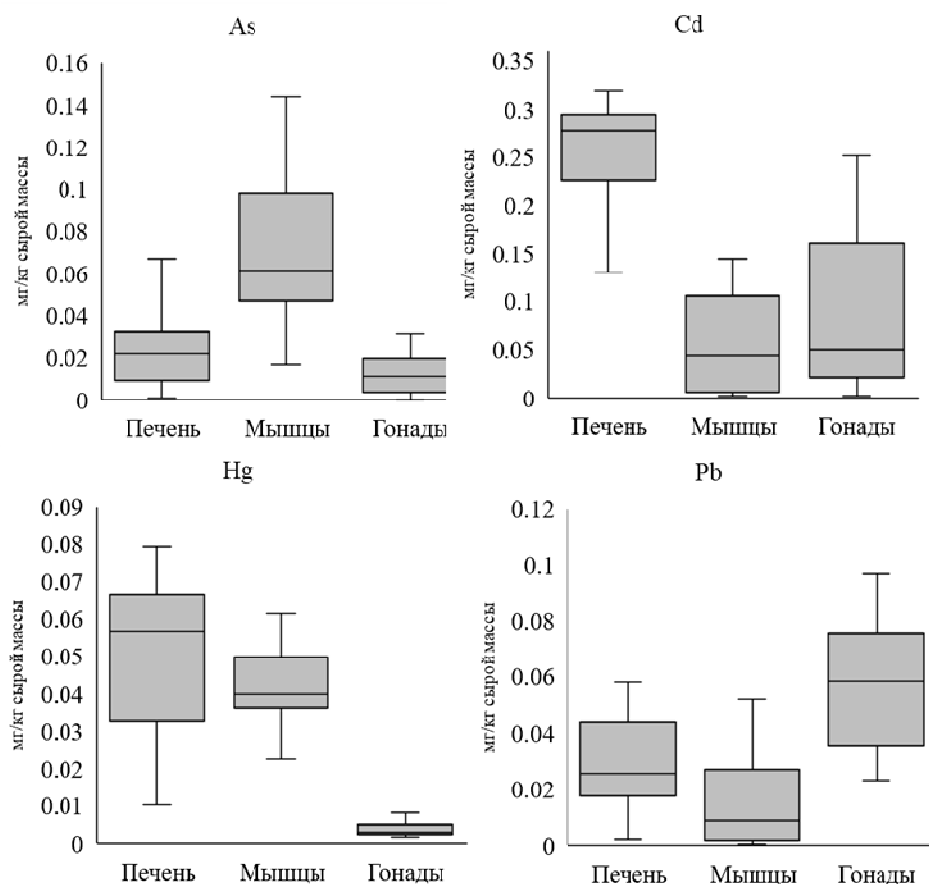


Рис. 10.2. Диапазоны и средние концентрации (медиана) токсичных микроэлементов в макрурсе малоглазом (*Albatrossia pectoralis*), мг/кг сырой массы

Биоаккумуляции подвергаются любые формы металла, при этом для неорганических форм установлен аддитивный вклад разных путей поступления (с пищей, через кожные покровы и жабры в процессе дыхания). Основной путь потребления метилртути рыбой – алиментарный [26, 27]. Механизм токсического действия ртути связан с ее взаимодействием с сульфгидрильными группами белков. Таким образом, блокируя белки, ртуть изменяет их свойства или инак-

тивирует ряд жизненно важных ферментов, тем самым нарушая белковый обмен. Печень выполняет функцию детекторов, фильтров, трансформаторов веществ и несет ответственность за содержание ртути в организме [28].

Оценка рисков для здоровья человека

Исходя из рассчитанных данных (табл. 10.4) при употреблении 0,08 кг печени макруруса в день существует риск развития рака ($ILCR = 4,9 \cdot 10^{-5}$), а также существует потенциальный риск для здоровья человека ($HQ = 0,35$).

Таблица 10.4

Коэффициенты HQ и $ILCR$ в органах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*)

Элемент	Потребление, кг/день	EDI для HQ	HQ	EDI для $ILCR$	$ILCR$
Печень					
As	0,08	$2,9 \cdot 10^{-5}$	0,09	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$
Cd	0,08	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,35	—	—
Pb	0,08	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,01	—	—
Hg	0,08	$5,8 \cdot 10^{-5}$	0,19	—	—
Мышцы					
As	0,08	$8,3 \cdot 10^{-5}$	0,27	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Cd	0,08	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,04	—	—
Pb	0,08	$1 \cdot 10^{-5}$	0,003	—	—
Hg	0,08	$4,9 \cdot 10^{-5}$	0,16	—	—

Примечание: «—» — показатели не рассчитывались; выделенные числа указывают на наличие потенциально возможного риска.

При употреблении 0,08 кг в день в течение всей жизни возможен риск развития рака ($ILCR = 1,3 \cdot 10^{-4} > 1 \cdot 10^{-5}$), а также существует потенциальный риск для здоровья человека $HQ = 0,27 > 0,2$.

Согласно полученным расчетам безопасным потреблением печени макруруса малоглазого в отношении HQ можно считать цифру в 0,0446 кг/год, по показателю $ILCR$ значения составляют 0,0191 кг/год (табл. 10.5).

Таблица 10.5

Результаты расчета допустимого потребления органов макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*)

Орган	Токсикант для HQ^1	$IR_{foods} HQ^2$, кг/год	Токсикант для $ILCR^3$	$IR_{foods} ILCR^4$, кг/год
Печень	Cd	0,0446	As	0,0191
Мышцы	As	0,0575	As	0,0068

Примечание: ¹ токсикант, с которым связан риск отравления (HQ); ² допустимое потребление для HQ ; ³ токсикант, с которым связан риск развития рака; ⁴ допустимое потребление для $ILCR$

При употреблении в пищу мышц безопасным можно считать цифру в 0,0575 кг/год для *HQ* и 0,0068 для *ILCR*.

Заключение

Изучено содержание Cd, Pb, As и Hg в мышцах, печени и гонадах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*). Средние уровни содержания мышьяка, кадмия, свинца и ртути в макрурсе составили $0,037 \pm 0,026$, $0,119 \pm 0,065$, $0,033 \pm 0,021$, $0,033 \pm 0,012$ мг/кг сырой массы соответственно. Содержание токсичных элементов в органах макруруса из Берингова моря не превышало предельно допустимых концентраций.

Оценка экологического риска показала, что безопасными количествами для употребления в пищу мышц являются 0,0575 кг/год (*HQ*) и 0,0068 (*ILCR*), печени – 0,0446 кг/год (*HQ*) и 0,0191 кг/год (*ILCR*).

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 22–24–00465).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Список использованных источников

1. Tsygankov, V.Y. Organochlorine pesticides in commercial Pacific salmon in the Russian Far Eastern seas: Food safety and human health risk assessment / V.Y. Tsygankov, O.N. Lukyanova, M.D. Boyarova [et al.] // Marine pollution bulletin. – 2019. – Vol. 140. – P. 503–508.
2. Tuponogov, V.N. Grenadier as an Important Reserve of the Far Eastern Deep-Sea Fisheries / V.N. Tuponogov, N.P. Novikov // Fisheries. – 2016. – No. 6. – P. 54–60.
3. Орлов, А.М. Некоторые черты биологии малоглазого *Albatrossia pectoralis* и пепельного *Coryphaenoides cinereus* макрурусов в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки / А.М. Орлов, А.А. Абрамов, А.М. Токранов // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: докл. VII межд. научн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2007. – С. 120–148.
4. Burger, J. Heavy metals in commercial fish in New Jersey / J. Burger, M. Gochfeld // Environmental Research. – 2005. – Vol. 99, no. 3. – P. 403–412.
5. Hightower, J.M. Mercury levels in high-end consumers of fish / J.M. Hightower, D. Moore // Environmental health perspectives. – 2003. – Vol. 111, no. 4. – P. 604–608.
6. Hwang, D.W. Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metals in Tissues of Walleye Pollock (*Gadus chalcogrammus*) Captured from the Northeastern Coast of Korea / D.W. Hwang, K. Shim, C.I. Lee // Journal of food protection. – 2019. – Vol. 82, no. 5. – P. 903–909.
7. Стеблевская, Н.И. Изучение элементного состава тканей и органов некоторых видов промысловых рыб бухты Северная залива Петра Великого (Японское море) / Н.И. Стеблевская, С.В. Чусовитина, Н.В. Полякова, Е.А. Жадько // Вопросы рыболовства. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 96–102.
8. Contaminated Site Risk Assessment in Canada, Part II: Health Canada Toxicological Reference Values (TRVs) and Chemical-Specific Factors, Version 2.0 [cited 2021 Jun 6] Canada.ca: [сайт]. – URL: [https:// www.canada.ca/en/health-canada.html](https://www.canada.ca/en/health-canada.html) (дата обращения: 23.03.2022).

9. United States Environment Protection Agency (USEPA). IRIS Assessments [cited 2021 Jun 6]. Cfpub.epa.gov: [сайт]. – URL: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/AtoZ.cfm (дата обращения: 23.03.2022).
10. Persistent Organic Pollutants Toolkit [cited 2021 Jun 6]. Popstoolkit.com: [сайт]. – URL: <http://www.popstoolkit.com/> (дата обращения: 31.01.2020).
11. Шлямин, Б.А. Берингово море / Б.А. Шлямин. – Москва, Географгиз. – 1958. – 96 с.
12. Шунтов, В.П. Биология дальневосточных морей России / В.П. Шунтов. – Владивосток: ТИНРО, 2001. – Т. 1. – 580 с.
13. Van der Oost, R. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review / R. Van der Oost, J. Beyer, N.P.E Vermeulen // Environmental toxicology and pharmacology. – 2003. – Vol. 13, no. 2. – P. 57–149.
14. Spry, D.J. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review / D.J. Spry, J.G. Wiener // Environmental pollution. – 1991. – Vol. 71, no. 2-4. – P. 243–304.
15. Глазунова, И.А. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб Верхней Оби / И.А. Глазунова // Известия Алтайского государственного университета. – 2007. – № 3. – С. 20–22.
16. Чемагин, А.А. Тяжелые металлы Hg, Cd, Pb в организме стерляди (*Acipenser ruthenus* L.), Нижний Иртыш / А.А. Чемагин, Г.И. Волосников, Д.Н. Кыров, Е.Л. Либерман // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 225–233.
17. Грициняк, І.І. Вплив неесенціальних елементів (ртуть, миш'як) на організм лососевих (*Salmonidae*) риб (огляд) / І.І. Грициняк, Д.О. Янович, В.В. Бех // Рибогосподарська наука України. – 2015. – № 3. – С. 18–33.
18. Selin, N.E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review / N.E. Selin // Annual review of environment and resources. – 2009. – Vol. 34. – P. 43–63.
19. Скальный, В.В. Элементный статус работников ОАО «Северсталь» / В.В. Скальный, В.И. Некрасов, И.О. Мясников // Микроэлементы в медицине. – 2006. – Т. 7, № 2. – С. 47–52.
20. Петухов, С.А. К вопросу о «видовых» различиях микроэлементного состава рыб / С.А. Петухов, Н.П. Морозов // Вопросы ихтиологии. – 1983. – Т. 23, № 5. – С. 870–872.
21. Войнар, А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А.И. Войнар. – Москва: Высшая школа, 1960. – 544 с.
22. Попов, П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации: монография / П.А. Попов. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2002. – 270 с.
23. Исуев, А.Р. О накоплении мутагенных химических веществ в органах промысловых рыб Каспия / А.Р. Исуев, А.К. Аскерханов // Докл. междунар. конф. «Каспий – 95». Касп. регион: экон., экол., мин. ресурсы, 20–23 июня 1995 г. – Москва, 1995. – С. 100, 101.
24. Моисеенко, Т.И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т.И. Моисеенко, Л.П. Кудрявцева, Н.А. Гашкина. – Москва: Наука, 2006. – 261 с.
25. Ковековдова, Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах дальнего востока России: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / Лидия Тихоновна Ковековдова. – Владивосток, 2011. – 307 с.

26. Hall, B.D. Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish / B.D. Hall, R.A. Bodaly, R.J.P. Furge [et al.] // Water Air Soil Pollut. – 1997. – Vol. 100. – P. 13–24.

27. Hrenchuk, L.E. Dietary and waterborne mercury accumulation by yellow perch: a field experiment / L.E. Hrenchuk, P.J. Blanchfield, M.J. Paterson, H.H. Hintelmann // Environ. Sci. Technol. – 2012. – Vol. 46. – P. 509–516.

28. Пастухов, М.В. Распределение и аккумуляция ртути в байкальской нерпе / М.В. Пастухов, В.Н. Эпов, Т.М. Чешельский [и др.] // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 56–66.

Информация об авторах

Гамов Матвей Константинович, аспирант, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: gamovmota123456@gmail.com

Ковековдова Лидия Тихоновна, д-р биол. наук, профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: kovekovdova@mail.ru

Боярова Маргарита Дмитриевна, канд. биол. наук, доцент, заведующая лабораторией физико-механических испытаний Испытательного центра «Океан», Политехнический институт ДВФУ. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, заведующий Лабораторией пищевой биотехнологии и инженерии, директор Департамента комплексных проектов, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», заведующий Лабораторией прикладной экологии и токсикологии, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 10. TOXIC ELEMENTS IN ORGANS OF GIANT GRENADIER (ALBATROSSIA PECTORALIS) AS HUMAN HEALTH RISK FACTOR

**Matvey K. Gamov, Lidiya T. Kovekovdova¹, Margarita D. Boyarova²,
Vasiliy Yu. Tsygankov^{1,3}**

Abstract. The paper presents the concentration ranges of toxic elements As, Cd, Pb, Hg in the organs of giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) from the Bering Sea. The features of the distribution of microelements in the organs of grenadier are shown. The content of toxic regulated metals and arsenic does not exceed the maximum permissible levels. The highest concentrations of toxic elements were registered in the liver. Based on the obtained concentrations of microelements, the

¹ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

³ Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

cancer development index ILCR and the index of potential risk to human health HQ were calculated. The indicators were calculated for the liver and muscle tissue since they are most often eaten. Eating 0.08 kg of giant grenadier tissue is associated with an ILCR cancer risk and a potential HQ human health risk.

Keywords: *giant grenadier; Bering Sea; toxic trace elements; heavy metals; health risk assessment.*

Information about authors

Matvey K. Gamov, postgraduate student, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: gamovmota123456@gmail.com

Lidiya T. Kovekovdova, Dr. Sci., Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: kovekovdova@mail.ru

Margarita D. Boyarova, Ph.D. Biol. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical and Mechanical Tests of the Testing Center "Ocean", Polytechnic Institute FEFU. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Engineering, Director of the Department of Complex Projects, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", FEFU; Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Head of the Laboratory of Applied Ecology and Toxicology, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Глава 11. СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В РЫБАХ ОЗЕРА ХАНКА

М.М. Донец¹, М.Д. Боярова², В.И. Кульшова³, С.И. Коженкова⁴,
В.А. Лях³, В.Ю. Цыганков^{1,3}

Аннотация. Среди всех поллютантов, поступающих в окружающую среду, наиболее опасными являются стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), обнаруживающиеся во всех абиотических и биотических компонентах экосистем. Озеро Ханка – крупнейший пресноводный водоем северо-восточной Азии международного значения, находящийся в наиболее сельскохозяйственно развитых регионах Китая и Приморского края России. Для определения аккумуляции и трансформации хлорорганических соединений в оз. Ханка с использованием рыб-индикаторов исследованы органы карася серебряного (*Carassius gibelio*), амурского сазана (*Cyprinus carpio haematopterus*), змееголова (*Channa argus*), горбушки (*Chanodichthys oxyccephalus*), востробрюшки (*Hemiculter lucidus*), монгольского краснопера (*Chanodichthys mongolicus*), верхогляда (*Chanodichthys erythropterus*) и судака (*Sander lucioperca*). В органах исследованных рыб обнаружены ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ и различные конгенеры ПХБ. В органах бентофагов обнаружены достоверные ($p \leq 0,05$) различия в концентрациях ДДТ, у хищных рыб – ГХЦГ в соответствии с размерно-весовыми характеристиками рыб и их пищевой специализацией. При сравнении полученных нами результатов с требованиями нормативных документов не обнаружено ни одного случая превышения предельно допустимых концентраций.

Ключевые слова: СОЗ; ХОП; ПХБ; озеро Ханка; пресноводные рыбы.

Из всех поллютантов, поступающих в окружающую среду в результате деятельности человека, наиболее опасными являются стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) [1]. Несмотря на то, что отдельные группы СОЗ были запрещены во многих развитых и некоторых развивающихся странах с 1970-х гг., их способности к атмосферному переносу, биотранспорту и биомагнификации способствуют их повсеместному распространению. Эти вещества обнаруживаются во всех абиотических и биотических компонентах окружающей среды [2–4].

Озеро Ханка – крупнейший пресноводный водоем северо-восточной Азии. Особенности его расположения и климата во многом обуславливают продуктивность местных экосистем, их биологическое и генетическое разнообразие [5]. С середины XX в. Приханкайская равнина стала одним из основных сельскохозяйственных районов Дальнего Востока России и Провинции Хэйлунцзян в Китае. Однако в результате экономического кризиса 1990 г. произошло значительное снижение антропогенной нагрузки на этот регион в результате закрытия

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

² Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

³ Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

⁴ Центр ландшафтно-экологических исследований, Тихоокеанский институт географии, ДВО РАН 690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 7.

равнины Саньцзян в бассейне Амура на границе России и Китая и находится в хозяйственном пользовании двух государств. Его площадь составляет 4070 км². Озеро представляет собой мелководный (в среднем 2–3 м) водоем лёссового типа. В летний период прозрачность воды не превышает 15–18 см. Зеркало воды находится на высоте 69 м над уровнем моря. В озеро впадает около двух десятков рек (Мулинхэ, Бэйпаоцзы, Илистая, Спассовка) и вытекает только одна – Сунгача, связывающая озеро с р. Амур. В бассейне озера расположены несколько крупных районных центров, включая г. Спасск-Дальний, в которых имеются предприятия рудодобывающей, горно- и деревообрабатывающей промышленности.

Озеро является трансграничным российско-китайским объектом бассейнового типа, чутко реагирующим на всех уровнях самоорганизации экосистем и геосистемы в целом на процессы различного генезиса, протекающие как с российской, так и с китайской сторон в рамках единой природной системы. Это определяет ряд особенностей и проблем в функционировании системы и ее состояния, в т.ч. во многом определяет экологическую ситуацию.

Бассейн озера Ханка – важнейший сельскохозяйственный район, где сосредоточены основные площади возделывания культуры риса, как со стороны Приморья, так и со стороны Китая. В период 1990-х гг. произошло значительное снижение антропогенной нагрузки на этот регион в результате закрытия многих сельскохозяйственных предприятий. С 2000 г. наблюдается активизация хозяйственной деятельности на прилегающей к озеру территории. При этом основные посевы состоят из сои, кукурузы и риса. Здесь также развиты различные производства и сосредоточено большое число населения, особенно с китайской части бассейна. Это оказывает мощное воздействие на состояние ландшафтов, а также прибрежных и водных экосистем всего бассейна оз. Ханка.

Карась серебряный (*Carassius gibelio*), амурский сазан (*Cyprinus carpio haematopterus*), змеёголов (*Channa argus*), горбушка (*Chanodichthys oxycephalus*), востробрюшка (*Hemiculter lucidus*), монгольский краснопёр (*Chanodichthys mongolicus*), верхогляд (*Chanodichthys erythropterus*) и судак (*Sander lucioperca*) отбирались коллегами из Тихоокеанского института географии (ТИГ ДВО РАН) в оз. Ханка, в районе села Новосельское в 2018 г. (см. рис. 11.1). Рыбу отлавливали на глубине 1–2 м при помощи удочек. Выловленных особей измеряли, взвешивали и замораживали без разделения на органы. После отбора всех образцов их транспортировали в ТИГ ДВО РАН. Перед разделкой рыбу обмывали дистиллированной водой и препарировали без размораживания. Далее пробы хранились в морозильной камере до химического анализа на содержание СОЗ.

ГХ-анализ и расчет содержания СОЗ. Определение содержания хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов в образцах гидробионтов выполняли на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra. Капиллярная колонка SLB-5ms, газ-носитель – гелий, скорость потока – 1 мл/мин. Температуры инжектора и детектора – 250 и 150 °С соответственно. Программа печи: нагрев – до 100 °С в течение 4 мин, последующий нагрев – до 310 °С со скоростью 7 °С/мин, изотерма – 6 мин при 310 °С. Полученные результаты проверялись на газовом хроматографе Shimadzu GC-2010 Plus с детектором электронного захвата ECD. Капиллярная колонка – Shimadzu HiCap SVR 5. Температура колонки – 210 °С, инжектора – 250 °С, детектора – 280 °С. Газ-носитель – аргон, давление на входе – 2 кг/см², делитель потока – 1: 60, скорость потока газа-носителя через колонку – 0,5 мл/мин [7, 8]. Хроматографы

калибровали по стандартным растворам СОЗ. Идентификацию проводили по относительному времени удерживания. Количественное определение проводили согласно калибровочному графику, построенному на основе стандартных растворов. Стандартные образцы растворяли в *n*-гексане и для снижения систематической ошибки обрабатывали в тех же условиях, что и пробы. Количественное определение проводили методом внутреннего стандарта, используя стандартные смеси пестицидов.

Статистический анализ результатов. Анализ осуществлялся с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics для ОС Windows 10. Достоверность данных оценивали с помощью двустороннего критерия Краскала – Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Результаты представлены в виде: диапазон концентраций (min–max), среднее значение $\pm$ стандартное отклонение.

ХОС в рыбах оз. Ханка

В 2020 г. в водах оз. Ханка проводилось исследование концентраций различных ХОП [9]. Согласно полученным данным диапазоны концентраций ДДТ и γ -ГХЦГ в воде озера составляли 24,9–49,6 и 3,0–14,9 нг/л соответственно (при допустимом содержании 1 и 10 нг/л соответственно). Отмечается давность поступления ГХЦГ в экосистему, в то время как «свежее» поступление ДДТ, вероятнее всего, указывает на продолжение использования, несмотря на ратификацию Стокгольмской конвенции. В то же время авторам удалось обнаружить серьезное превышение допустимых уровней ДДТ и ГХЦГ в р. Астраханка – в 315 и 38 раз соответственно. Преобладание γ -ГХЦГ указывает на утечку хранилищ этого запрещенного соединения или намеренное использование в сельском хозяйстве. Авторы также отметили беспрепятственное поступление воды с сельскохозяйственных территорий в речную сеть, питающую озеро. В результате в отдельных водоемах среди метаболитов ДДТ обнаруживается только исходное соединение в диапазоне концентраций от 43,7 до 61,9 нг/л. В то же время информация о содержании ХОП в северной части озера отсутствует.

Таким образом, для более полного понимания процессов, происходивших в озере в 2018 г., необходимо межвидовое сравнение концентраций с разделением исследуемых рыб по образу жизни и питанию. Рыбы были разделены на три группы: хищники (горбушка, верхогляд, краснопер, судак, змееголов), бентофаги (сазан, карась, змееголов), планктонофаг (востробрюшка).

Сазан амурский и карась серебряный являются наиболее близкими по своим биологическим характеристикам видами рыб. Они способны к межвидовому скрещиванию в природных условиях; очень сходны по типу и объектам питания и являются конкурентами. При этом значительную долю в их спектре питания занимают бентосные организмы, в особенности личинки хирономид [10]. Еще одной рыбой, пребывающей в тесной взаимосвязи с донными осадками, является змееголов. Все три вида предпочитают мягкие илистые грунты, хорошо сорбирующие поллютанты [11]. В процессе питания эти рыбы заглатывают ил, что, вероятнее всего, является основным источником поллютантов в их организмах.

При сравнении суммарных концентраций поллютантов в органах карася, сазана и змееголова достоверные ($p \leq 0,05$) различия обнаружены только для ДДТ в мышцах в порядке *карась > змееголов > сазан* (рис. 11.2). Остальные органы не показали статистически значимых различий и находились примерно на одном уровне (по медиане). Это может указывать на сходный источник поступления

ГХЦГ и ПХБ в воды озера (по нашей теории, атмосферный перенос). Достоверные же различия в концентрациях ДДТ могут быть связаны с захоронением большей части этого пестицида в донных осадках озера. При этом довольно обоснованными выглядят более высокие уровни данного соединения в мышцах змееголова, по сравнению с сазаном, поскольку последний не так сильно подвержен биомагнификации СОЗ (т.к. не является хищником). В то же время более высокие уровни пестицида в карасе, по сравнению со змееголовом и сазаном, выглядят нелогично. Возможно, это связано с нарастающим попаданием ДДТ и его метаболитов в воды озера или другими причинами, которые требуют дальнейшего более глубокого исследования.

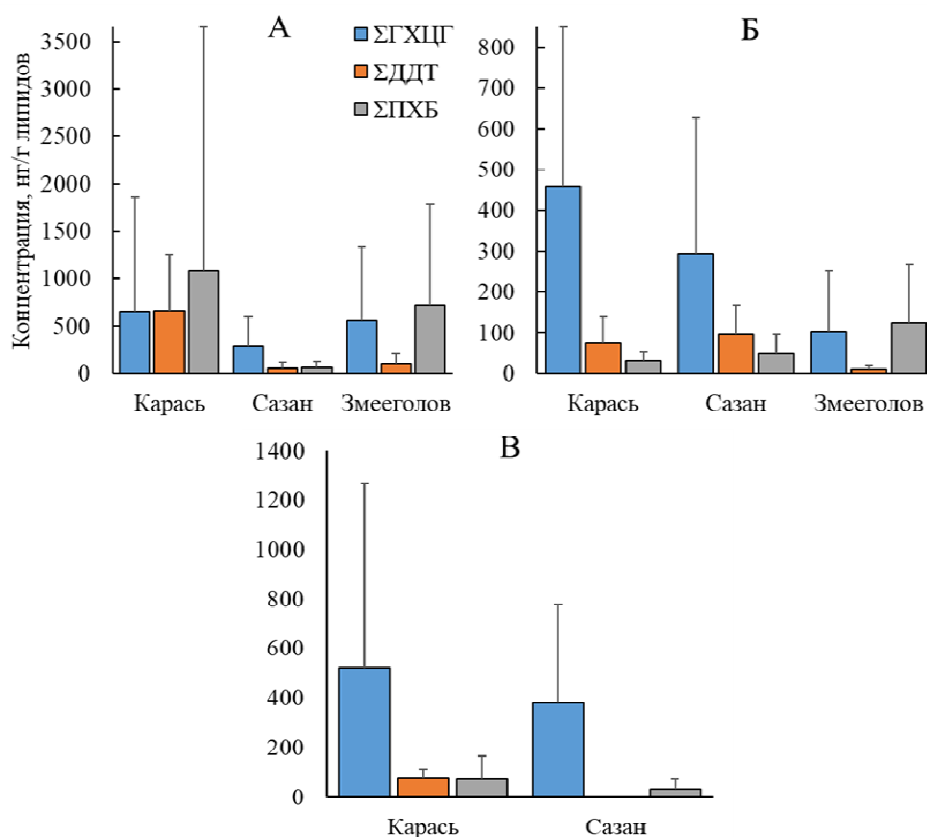


Рис. 11.2. Сравнение концентраций СОЗ в органах карася, сазана и змееголова:
А – мышцы; Б – печень; В – икра

За счет того, что ротовой аппарат карася позволяет ему проникать в донные осадки не более чем на 1–2 см (при 3–5 см у сазана), он заглатывает верхний, более загрязненный слой и аккумулирует поллютанты в своих органах [11]. Подобная теория требует более тщательной проверки и исследования концентраций СОЗ в донных осадках озера.

Провинция Хэйлунцзян – основной район выращивания риса в Китае вблизи оз. Ханка. Основное производство сельскохозяйственной продукции ведется здесь домашними хозяйствами. За счет большей «самостоятельности» фермеры зачастую принимают решение о высаживаемых культурах и способах их обра-

ботки методом проб и ошибок, что способствует применению запрещенных пестицидов вследствие передачи знаний от старшего поколения (еще заставшего активное применение ХОП) [12]. К тому же многие современные работы китайских авторов [13, 14] отмечают значительный переизбыток применяемых пестицидов, в то же время не конкретизируют их качественный состав. В среднем переизбыток применения пестицидов для выращивания риса в северо-восточном Китае составляет от 1,2 до 2,3 раза, по сравнению с обычным внесением [14].

При сравнении концентраций в мышцах и печени хищных рыб и востробрюшки достоверные ($p \leq 0,05$) различия обнаружены для ГХЦГ в мышцах и печени (рис. 11.3) в порядках: судак > верхогляд > горбушка > змееголов > краснопер и судак > горбушка > верхогляд > краснопер > змееголов, что соотносится с размерно-весовыми характеристиками рыб и хищническим образом жизни. Уровни ДДТ и ПХБ примерно равны между всеми рыбами, что указывает на низкую степень загрязнения водоема этими поллютантами. Учитывая, что большая часть СОЗ поступает в организм с пищей, а основной кормовой базой хищников в озере Ханка выступает востробрюшка [15], практически не содержащая СОЗ, низкие уровни загрязнения рыб в 2018 г. становятся вполне понятны.

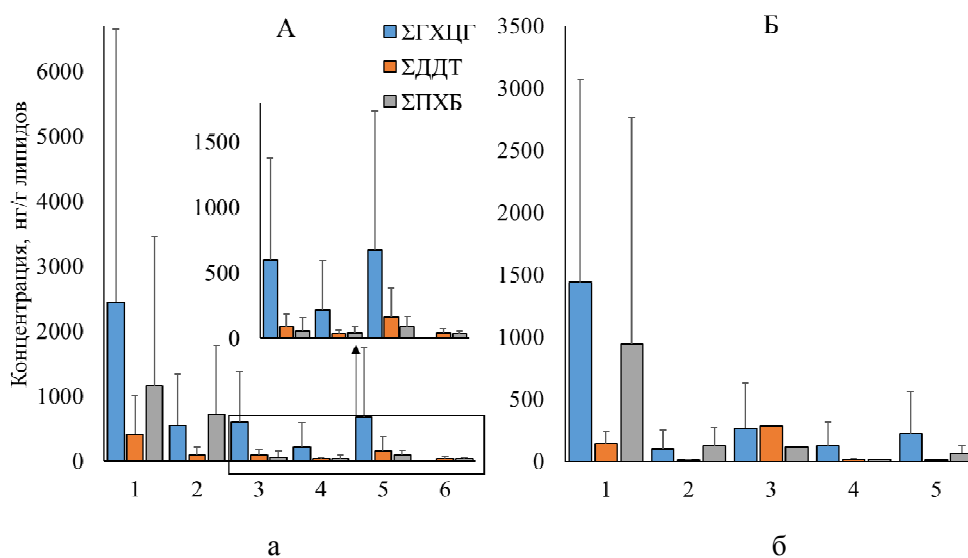


Рис. 11.3. Сравнение концентраций СОЗ в мышцах (а) и печени (б) хищников и востробрюшки: 1 – судак; 2 – змееголов; 3 – горбушка; 4 – краснопер; 5 – верхогляд; 6 – востробрюшка

В целом результаты межвидового сравнения указывают на присутствие хронического низкоинтенсивного загрязнения в оз. Ханка. Причем в 2018 г. существовало два основных источника поллютантов: атмосферный перенос (ГХЦГ, ПХБ) и донные осадки (ДДТ). Однако некоторая неясность в разнице концентраций в органах бентофагов, а также данные других авторов [9] об усиливающемся антропогенном прессе на воды озера показывают необходимость дальнейшего мониторинга этого важного водоема международного значения и исследования абиотических компонентов экосистемы для составления более детального заключения о состоянии озера.

Безопасность пищевой продукции – один из наиболее острых вопросов всего мира [16]. Она гарантируется соблюдением нормативных документов, регламентирующих уровни токсичных веществ в пищевых продуктах.

Рыба и нерыбные продукты морского промысла – широко распространенные по всему миру продукты питания; в некоторых регионах мира составляют основу рациона местного населения (например, Япония, Аляска). Наиболее полезными компонентами для здоровья человека, содержащимися в жирной рыбе и рыбных продуктах, являются омега-3 жирные кислоты, в частности эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты. Эти питательные вещества важны для здоровья и правильного функционирования человеческого организма, поскольку встречаются у рыб в большем количестве, чем в других пищевых продуктах [17, 18].

Водные экосистемы являются важными поставщиками высокоценного белка и различных пищевых веществ, в связи с чем активно используются человеком. Ввиду своей липофильности СОЗ концентрируются в тканях гидробионтов. В связи с этим, практически по всему миру осуществляется государственное регулирование предельно допустимых концентраций (ПДК) этих соединений в тканях водных биологических ресурсов. В России существует множество санитарно-гигиенических нормативов, направленных на обеспечение продовольственной безопасности пищевых продуктов. Наиболее важными документами, устанавливающими гигиенические требования к рыбе и нерыбным объектам морского промысла, являются: СанПин 2.3.2.1078-01, ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016 [19–21].

Несмотря на то, что основными нормируемыми СОЗ являются ГХЦГ, ДДТ и ПХБ, их регулирование различается среди почти всех стран. Например, из изомеров ГХЦГ в России нормируются α -, β - и γ -формы соединения [19], в Канадских нормативах ГХЦГ нормируется среди прочих сельскохозяйственных химикатов [22], в Австралии и Новой Зеландии γ -изомер нормируется отдельно от остальных форм [23], а в Китае, помимо трех основных изомеров (α -, β - и γ -), учитывается еще и δ -ГХЦГ [24]. Часть стран вообще не нормирует это соединение. Если рассмотреть регулирование ДДТ и его метаболитов, то в России нет четких указаний, какие именно изомеры стоит учитывать при оценке соответствия [19], в США – все формы этого соединения не учитываются, если их суммарная концентрация меньше 200 нг/г сырой массы [25]. В области регулирования ПХБ наиболее прогрессивным является Китай: в рыбе и рыбопродуктах этой страны нормируются индикаторные ПХБ (28, 52, 101, 118, 138, 153 и 180 конгенеры) [26]. В России, например, в гигиенических нормативах не указаны формы этих соединений, учитываемых при определении суммарного количества. Кроме различий в формах соединений, существенно различаются и уровни, зависящие от фоновых концентраций СОЗ в окружающей среде конкретной страны.

Таким образом, нормирование ДДТ, ГХЦГ и ПХБ в России существенно отличается от других стран. В существующих нормативных документах РФ не хватает разъяснений, какие именно формы ксенобиотиков необходимо учитывать при определении их общего количества в конкретном объекте.

Для оценки соответствия обнаруженных концентраций СОЗ нормативным документам произведен пересчет концентраций с нг/г липидов на нг/г сырой массы (табл. 11.1). При переводе значений учитывались только органы, употребляемые человеком.

Таблица 11.1

**Средние суммарные концентрации ГХЦГ, ДДТ и ПХБ в рыбах оз. Ханка,
нг/г сырой массы**

Вид	Орган	ΣГХЦГ	ΣДДТ	ΣПХБ
Карась серебряный	Мышцы	2,4	2,1	2,5
Сазан амурский	Мышцы	1,8	0,4	0,5
	Печень	4,1	2,3	0,9
	Икра	14,5	–	0,4
Змееголов	Мышцы	2,5	0,4	2,4
	Печень	1,8	0,2	1,9
Горбушка	Мышцы	2,4	0,3	0,1
Востробрюшка	Мышцы	–	0,3	0,2
Монгольский краснопер	Мышцы	1,1	0,3	0,3
	Икра	0,6	0,8	0,4
Верхогляд	Мышцы	2,4	0,6	0,3
Судак	Мышцы	1,8	0,5	0,2
	Печень	52,4	4,9	23,4

При сравнении полученных авторами значений с требованиями нормативных документов не обнаружено ни одного случая превышения предельно допустимых концентраций, что свидетельствует о соответствии рыбной продукции оз. Ханка регламентирующим требованиям законодательства. При этом часть соединений (дильдрин, эндрин) не регламентированы, что создает определенную опасность для потребителей. В то же время СОЗ за счет своей липофильности способны аккумулироваться в органах живых организмах, в том числе в человеке [27]. При накоплении некой критической массы токсикантов возможно отравление или увеличение риска развития рака в течение жизни, что указывает на необходимость проведения такой проверки в будущих исследованиях.

Заключение

Проанализированы особенности аккумуляции СОЗ в различных видах рыб оз. Ханка. При сравнении суммарных концентраций поллютантов в органах бентофагов (карася, сазана и змееголова) достоверные ($p \leq 0,05$) различия обнаружены только для ДДТ в мышцах в порядке карась>змееголов>сазан. При сравнении уровней поллютантов в органах хищных рыб и востробрюшки достоверные ($p \leq 0,05$) различия обнаружены для ГХЦГ в мышцах (судак>верхогляд>горбушка>змееголов>краснопер) и печени (судак > горбушка > верхогляд>краснопер>змееголов), что соотносится с размерно-весовыми характеристиками рыб и их пищевой специализацией. При сравнении полученных авторами результатов с требованиями нормативных документов не обнаружено ни одного случая превышения предельно допустимых концентраций, что свиде-

тельствует о соответствии рыбной продукции оз. Ханка регламентирующим требованиям законодательства.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Е.В. Бруневской за помощь в сборе материала. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18–14–00120).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Стокгольмская конвенция: официальный сайт. – Стокгольм. – URL: <http://www.pops.int/> (дата обращения: 05.06.2020).
2. Covaci, A. Levels and distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in sediments and biota from the Danube Delta, Romania / A. Covaci, A. Gheorghe, O. Hulea, P. Schepens // *Environmental Pollution*. – 2006. – Vol. 140, no. 1. – P. 136–149.
3. Tsygankov, V.Yu. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000–2017) / V.Yu. Tsygankov // *Water Research*. – 2019. – Vol. 161. – P. 43–53.
4. Tsygankov, V.Yu. Bioaccumulation of POPs in human breast milk from south of the Russian Far East and exposure risk to breastfed infants / V.Yu. Tsygankov, Yu.P. Gumovskaya, A.N. Gumovskiy [et al.] // *Environ Sci Pollut Res*. – 2020. – Vol. 27, no. 6. – P. 5951–5957.
5. Кадастровые сведения о государственном природном биосферном заповеднике «Ханкайский» за 2017–2020 гг. / С.И. Коженкова // Государственный природный биосферный заповедник «Ханкайский»: официальный сайт. – Спасск-Дальний. – URL: <http://khanka-lake.ru/> (дата обращения: 05.06.2020).
6. Егидарев, Е.Г. Современное использование земель в бассейне озера Ханка / Е.Г. Егидарев, К.Ю. Базаров, Н.В. Мишина // *Геосистемы северо-восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории: сборник научных статей*. – Владивосток: ФГБУН ТИГ ДВО РАН, 2019. – С. 197–203.
7. Donets, M.M. Flounders as indicators of environmental contamination by persistent organic pollutants and health risk / M.M. Donets, V.Yu. Tsygankov, A.N. Gumovskiy [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2021. – Vol. 164. – P. 111977.
8. Tsygankov, V.Yu. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova // *Achievements in the Life Sciences*. – 2015. – Vol. 9, no. 1. – С. 65–68.
9. Лягуша, М.С. Современные уровни хлорорганических пестицидов (ХОП) в абиотических компонентах экосистем северо-западной части Тихого океана / М.С. Лягуша, А.П. Черняев // *Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном регионе: моря, организмы, человек: монография* / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.]; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 101–127.
10. Burik, V.N. Common carp (*Cyprinus carpio haemotopterus*) in the basins of the Tunguska and Zabelovka rivers / V.N. Burik // *Regional problems*. – 2010. – Vol. 13, no. 2. – P. 62–66.

11. Берг, Л.С. Промысловые рыбы СССР. Описания рыб (текст к атласу цветных рисунков рыб) / Л.С. Берг, А.С. Богданов, Н.И. Кожин [и др.]; под ред. Е.П. Атакова. – Москва: Пищепромиздат, 1949. – 793 с.
12. Yang, X. Adaptation of agriculture to warming in Northeast China / X. Yang, E. Lin, S. Ma [et al.] // *Climatic Change*. – 2007. – Vol. 84, no. 1. – P. 45–58.
13. Hu, Y. Rice production and climate change in Northeast China: evidence of adaptation through land use shifts / Y. Hu, L. Fan, Z. Liu [et al.] // *Environ. Res. Lett.* – 2019. – Vol. 14, no. 2. – P. 024014.
14. Sun, S. Determinants and overuse of pesticides in grain production: A comparison of rice, maize and wheat in China / S. Sun, C. Zhang, R. Hu // *CAER*. – 2020. – Vol. 12, no. 2. – P. 367–379.
15. Курдяева, В.П. К биологии и диагностике уссурийской (*Hemiculter lucidus* (Dybowski, 1872)) и корейской (*H. leucisculus* (Basilewsky, 1855))* востробрюшек из оз. Ханка и водоема-охладителя Приморской ГРЭС / В.П. Курдяева, М.Е. Шаповалов, Е.И. Рачек // *Известия ТИНРО*. – 2002. – Т. 131. – С. 208–227.
16. Fung, F. Food safety in the 21st century / F. Fung, H.-S. Wang, S. Menon // *Biomedical Journal*. – 2018. – Vol. 41, no. 2. – P. 88–95.
17. Berbert, A.A. Supplementation of fish oil and olive oil in patients with rheumatoid arthritis / A.A. Berbert, C.R.M. Kondo, C.L. Almendra [et al.] // *Nutrition*. – 2005. – № 21 (2). – P. 131–136.
18. Calò, L. N-3 Fatty Acids for the Prevention of Atrial Fibrillation After Coronary Artery Bypass Surgery / L. Calò, L. Bianconi, F. Colivicchi [et al.] // *Journal of the American College of Cardiology* – 2005. – Vol. 45, no. 10. – P. 1723–1728.
19. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции»: ТР ЕАЭС 040/2016: [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18 октября 2016 года № 162] // КонсультантПлюс.
20. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевых продуктов»: ТР ТС 021/2011: [утвержден Решением Комиссии Таможенного Союза от 9 октября 2011 года № 880: в редакции от 10 июня 2014 года] // КонсультантПлюс.
21. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов»: СанПиН 2.3.2.1078-01: [Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14 ноября 2001 года № 36] // КонсультантПлюс.
22. C.F.I.A. Standards and Methods Manual: Official cite. – Government of Canada. – URL: <https://www.inspection.gc.ca/food-safety-for-industry/archived-food-guidance/fish-and-seafood/manuals/standards-and-methods/eng/1348608971859/1348609209602?chap=7#s20c7> (date of the application: 13.05.2020).
23. Federal Register of Legislation. Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19 – Extraneous residue limits // *Food Standards Gazette*. – 2017. – № FSC96. – n.d.
24. National Food Safety Standard for Maximum Residue Limits for Pesticides in Foods (GB 2763-2016). – Beijing: National Health and Family Planning Commission, Ministry of Agriculture, China Food and Drug Administration, 2016. – 218 p.

25. Compliance Policy Guide. Sec. 575.100 Pesticide Residues in Food and Feed – Enforcement Criteria (Compliance Policy Guide 7141.01): official cite. – USA: Food and Drug Administration. – 2018. – URL: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/compliance-policy-guide-sec-575100-pesticide-residues-food-and-feed-enforcement-criteria-compliance/> (date of the application: 13.05.2020).

26. National Food Safety Standard for Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB 2762-2017). – Beijing: National Health and Family Planning Commission, Ministry of Agriculture, China Food and Drug Administration, 2017. – 17 p.

27. Donets, M.M. Organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in Pacific salmon from the Kamchatka Peninsula and Sakhalin Island, Northwest Pacific / M.M. Donets, V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova [et al.] // Marine Pollution Bulletin. – 2021. – Vol. 169. – P. 112498.

Информация об авторах

Донец Максим Михайлович, аспирант, Институт Мирового океана (Школа) Дальневосточного федерального университета (ДВФУ). E-mail: maksim.donecz@mail.ru

Боярова Маргарита Дмитриевна, канд. биол. наук, доцент, заведующая лабораторией физико-механических испытаний Испытательного центра «Океан», Политехнический институт ДВФУ. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Кульшова Вероника Игоревна, магистрант, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ. E-mail: veronikakulshova@mail.ru

Коженкова Светлана Ивановна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник Центра ландшафтно-экологических исследований Тихоокеанского института географии ДВО РАН. E-mail: svetlana@tigdvo.ru

Лях Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, заместитель директора по учебной работе, доцент Департамента пищевых наук и технологий, и.о. декана факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ, E-mail: lyah.va@dvfu.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, заведующий Лабораторией пищевой биотехнологии и инженерии, директор Департамента комплексных проектов, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», заведующий Лабораторией прикладной экологии и токсикологии, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 11. PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN FISH OF KHANKA LAKE

**Maksim M. Donets¹, Margarita D. Boyarova², Veronika I. Kulshova³,
Svetlana I. Kozhenkova⁴, Vladimir A. Lyakh³, Vasiliy Yu. Tsygankov^{1,3}**

Abstract. Among all the pollutants entering the environment, persistent organic pollutants (POPs) are the most dangerous and found in all components of ecosystems. Khanka is the largest lake of international importance in Northeast Asia, located in the most agriculturally developed regions of China and the Far East. To determine the accumulation and transformation of POPs in the lake we studied the organs of Prussian carp (*Carassius gibelio*), Amur carp (*Cyprinus rubrofasciatus*), Ussuri sharpbelly (*Hemiculter lucidus*), lake skygazer (*Chanodichthys oxycephalus*), Mongolian redbelly (*C. mongolicus*), and predatory carp (*C. erythropterus*). DDTs, HCHs, and PCBs were found in the organs of the studied fishes. Significant ($p \leq 0,05$) differences in DDT concentrations were found in the organs of benthivorous fish, HCH – in predatory fish, in accordance with the size and weight characteristics of fish and their food specialization. We did not find a single case of exceeding the maximum permissible levels of regulatory documents.

Keywords: POPs, OCPs, PCBs, Khanka Lake; freshwater fishes.

Information about authors

Maksim M. Donets, postgraduate student, Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU). E-mail: maksim.donecz@mail.ru

Margarita D. Boyarova, Ph.D. Biol. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical and Mechanical Tests of the Testing Center "Ocean", Polytechnic Institute FEFU. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Veronika I. Kulshova, master-student, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU. E-mail: veronikakulshova@mail.ru

Svetlana I. Kozhenkova, Ph.D. Biol. Sci., Senior Researcher, Center for Landscape and Ecological Research, Pacific Geographical Institute FEB RAS. E-mail: svetlana@tigdvo.ru

Vladimir A. Lyakh, Ph.D., Deputy Director for Academic Affairs, Associate Professor of the Department of Food Sciences and Technologies, acting Dean of the Faculty of Agro-Food Technologies and Food Engineering, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU, E-mail: lyah.va@dvfu.ru

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Engineering, Director of the Department of Complex Projects, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", FEFU; Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Head of the Laboratory of Applied Ecology and Toxicology, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

¹ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

³ Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

⁴ Center for Landscape Ecological Research, Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7 Radio str., Vladivostok, 690041, Russia.

Глава 12. ОБЩЕСТВЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ: ОПЫТ РАБОТЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ

К.А. Дроздов¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-113-120>

Аннотация. Рассматриваются проблемы проведения общественной экологической экспертизы (ОЭЭ) при реализации экологически опасных проектов. Приводятся примеры проведения ОЭЭ из практики ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ». Даются предложения по оптимизации работы общественных экологических экспертов через укрепление связей с контролирующими государственными органами и развитие института независимых экспертов.

Ключевые слова: экологическая безопасность; охрана окружающей среды.

Право каждого гражданина РФ на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии закреплено статьей 42 Конституции РФ [1]. С целью реализации указанного права Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [2] и Федеральным законом от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» [3] предусмотрена возможность проведения общественной экологической экспертизы (ОЭЭ) при принятии экологически значимых хозяйственных решений [2].

Проведение общественной экологической экспертизы – один из немногих механизмов, позволяющих на законных основаниях противостоять бесконтрольному вводу в эксплуатацию экологически опасных производств (ЭОП). Серьезные компании, дорожающие своей репутацией, заинтересованы предусмотреть все возможные риски, которые могут быть вызваны в процессе возведения опасных объектов и при последующей их эксплуатации, в том числе и экологические. Однако, к сожалению, такой ответственный подход можно наблюдать далеко не всегда и не у всех природопользователей. Чаще всего пренебрежение к экологической безопасности возводимых объектов наблюдается у компаний, иницирующих создание таких производств, которые не планируется эксплуатировать в течение длительного периода времени.

Экологическая экспертиза на сегодняшний день служит узаконенной превентивной мерой, способной не допустить строительство объектов, реализацию нормативных правовых актов, программ, иных решений в ущерб экологической безопасности и, следовательно, в ущерб правам граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду [2, 3].

Причины экологических проблем при реализации ЭОП в Приморском крае с точки зрения ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ»

На территории Приморского края имеется достаточно примеров неадекватной экологической политики при реализации ЭОП. Исходя из опыта работы Дальневосточной межрегиональной экологической общественной организации

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

«ЗЕЛЕНый КРЕСТ», более двадцати лет активно участвующей в проведении общественных экологических экспертиз, имеется достаточно свидетельств нарушений при реализации экологически опасных проектов, вызванных различными причинами: от их недостаточной проработанности до сознательного сокрытия нарушений с целью удешевления проектов.

Часто одной из причин нарушения экологического законодательства при реализации ЭОП, в том числе крупных транснациональных, являются не прямые нарушения этих организаций/компаний, а некорректные или непрофессиональные действия местных органов управления, на которых лежит ответственность за соблюдение закона. Понятно, что реализация любого крупного проекта способствует экономическому развитию локальных и региональных секторов. Но, если речь идет об организациях, зарегистрированных в других регионах, чаще всего в Москве, этот эффект оказывается незначительным, а иногда и нулевым.

Другой возможной причиной возникновения нарушений при реализации крупных ЭОП может стать коррупционная составляющая. Важным аспектом является то, что инициативы подобных правонарушений могут исходить даже не от конечного выгодоприобретателя (инвестора), реализующего проект, а от местных чиновников, которые вправе представить инвесторам определенные преференции, не обращая внимание на экологические нарушения.

Возможные недочеты в проектах, документах ОВОС, крупные компании-инвесторы предпочитают маскировать путем подкупа чиновников, которые «закрывают глаза» на эти нарушения, или препятствуют проведению ОЭЭ честными общественными экологическими организациями, зарекомендовавшими себя в течение многих лет как независимые эксперты. Для этого создаются «карманные» экологические организации, готовые подписать все, что угодно, по приказу богатых компаний или коррумпированных властей, а настоящим экспертам ставятся различные барьеры для участия в ОЭЭ.

В Приморском крае многочисленные нарушения отмечаются среди предприятий по транспортировке угля (угольные терминалы, занимающиеся открытой перевалкой каменного угля). Цель таких недобросовестных компаний – получение максимального дохода за минимальный промежуток времени, поэтому вопросы экологической безопасности ими решаются недостаточно серьезно, что приводит к большим текущим экологическим проблемам и проблемам в будущем.

Известны случаи возникновения экологических проблем и через деятельность так называемых «подставных компаний», которые активизируются на первых этапах реализации ЭОП. Получение дохода для данных компаний часто сводится к последующей продаже проектов при условии, что удастся провести недостаточно проработанный проект через государственную экологическую экспертизу (ГЭЭ). Их роль в проекте – промежуточная, а основным отличительным признаком является то, что у них обычно, кроме текущего заявленного проекта, больше нет других действующих, приносящих доход проектов. Уставной капитал «подставных компаний» зачастую не превышает минимального размера, разрешенного в Российской Федерации, который составляет 10 000 руб. В обоих случаях такие компании-временщики заинтересованы лишь в быстром получении «личного» дохода, никакой социальной ответственности перед населением региона, никаких долговременных планов на развитие бизнеса у них нет.

Зачастую к моменту, когда общественности становится известно о планах возведения крупных экологически опасных объектов на территории муниципалитетов, с местными властями эти идеи уже согласованы. И пока обществен-

ность выясняет потенциальные опасности ЭОП, рассматривает позитивные и негативные аспекты эксплуатации таких объектов в будущем, в том числе для окружающей среды и здоровья населения, местные органы управления уже оказывают поддержку этим компаниям, иногда негласно, иногда открыто, так как они уже стали экономическими «заинтересантами» проекта. Вопросы экологической безопасности их интересуют меньше, чем экономическая выгода. Поэтому местные власти начинают прикрываться лозунгами о необходимости развития региона/района, а местные СМИ их активно поддерживают, часто не пытаясь даже разобраться, к каким последствиям может привести реализация ЭОП.

Авторы не преследуют цель обнародовать все случаи нарушений при реализации проектов ЭОП, которые удалось выявить ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ» и другими общественными экологическими организациями Приморского края при проведении ОЭЭ; наша задача – попытаться предотвратить такие случаи в будущем.

В нормально развивающемся регионе вопросы сохранения окружающей среды должны находиться в таком же приоритете, как и вопросы экономического развития. Для этого общественности следует серьезно и взвешенно использовать механизмы общественного контроля, одним из которых является общественная экологическая экспертиза. Для этого необходимо знать законные основания для ее проведения и тщательно соблюдать процедурные вопросы от начальных этапов (регистрация ОЭЭ) до окончательных – подготовка заключений ОЭЭ.

Основные проблемы при проведении ОЭЭ

Препятствиями в проведении ОЭЭ может быть отказ в ее регистрации и затягивание процесса ОЭЭ.

Отказ в регистрации. Основания для отказа указаны в статье 24 Федерального закона «Об экологической экспертизе» [3]. Данная статья содержит исчерпывающий перечень оснований для отказа в государственной регистрации заявления о проведении ОЭЭ:

- ОЭЭ ранее была дважды проведена в отношении объекта общественной экологической экспертизы (т.е. имеется два утвержденных заключения разных экспертных комиссий ОЭЭ, при этом количество поданных на регистрацию заявлений о проведении ОЭЭ не имеет значения);

- заявление о проведении ОЭЭ было подано в отношении объекта, сведения о котором составляют государственную, коммерческую или иную охраняемую законом тайну;

- общественное объединение не зарегистрировало в установленном порядке на день обращения за государственной регистрацией заявления о проведении ОЭЭ;

- устав общественного объединения, организующего и проводящего ОЭЭ, не соответствует требованиям статьи 20 закона (т.е. не содержит права общественного объединения осуществлять деятельность в сфере охраны окружающей среды, организовывать и проводить общественную экологическую экспертизу);

- требования к содержанию заявления о проведении ОЭЭ, предусмотренные статьей 23 закона, не выполнены (т.е. отсутствуют какие-либо из следующих сведений – наименование, юридический адрес и адрес места нахождения общественного объединения, указание на характер предусмотренной его уставом деятельности, сведения о составе экспертной комиссии ОЭЭ, сведения об объекте ОЭЭ, сроки проведения ОЭЭ).

Момент регистрации общественной экологической экспертизы является самым сложным. Одной из причин, как указано выше, является договоренность компании с местной администрацией о поддержке проекта. Поэтому малейшая ошибка в поданной документации может стать причиной отказа администрацией в проведении экспертизы. Наиболее частые отказы в проведении ОЭЭ:

1) в уставе организации, иницирующей ОЭЭ, не должным образом указаны права общественного объединения осуществлять деятельность в сфере охраны окружающей среды, организовывать и проводить ОЭЭ. Основанием может являться то, что в уставе эти права указаны не точно, а именно нет отдельного пункта в уставе о праве проведения ОЭЭ, даже если это право указано при перечислении в другом пункте. Это, конечно, абсолютно незаконный отказ, и подобная юридическая коллизия легко решается в судебном порядке, однако отсрочка в регистрации может повлечь потерю времени и ресурсов общественного объединения;

2) не указаны сроки проведения экспертизы. ОЭЭ должна быть проведена до окончания государственной экологической экспертизы, а сроки проведения ГЭЭ не всегда известны, а иногда меняются. При верном указании сроков можно наткнуться на проблему искусственного создания препятствий местной администрацией.

Одна из рекомендаций, которая может увеличить шансы на успех в регистрации ОЭЭ, приведена в руководстве Н.А. Лисицыной по проведению общественных экологических экспертиз «Как провести общественную экологическую экспертизу?»: «Закон не устанавливает обязанности общественного объединения регистрировать ОЭЭ в каком-то определенном органе местного самоуправления, следовательно, у организатора ОЭЭ есть право выбора места регистрации. Заявление можно подать в орган МСУ как по месту нахождения общественного объединения, проводящего ОЭЭ, так и по месту осуществления планируемой деятельности, являющейся объектом ОЭЭ. Если вы опасаетесь отказа и затягивания процесса регистрации, то можно подать заявления в оба органа МСУ и использовать регистрацию, которая будет получена первой, отзывав заявление от второго адресата» [4].

Затягивание процесса ОЭЭ. Как указывалось выше, недобросовестные компании чаще всего препятствуют проведению ОЭЭ. Основным механизмом является непредоставление документации.

Проблемы проведения ОЭЭ на примере проекта «Морской терминал для перевалки сжиженных углеводородных газов в районе бухты Перевозной Приморского края»

В Приморском крае общественность, обеспокоенная нерациональным использованием территорий и природных ресурсов, уделяет пристальное внимание появлению новых проектов, опасных в экологическом отношении. Довольно часто при попытках провести ОЭЭ ученые и представители общественности сталкиваются с различными проблемами со стороны местных администраций, пытающихся создать различные барьеры для независимых экспертов.

Прокомментируем лишь один случай проблемного проведения ОЭЭ на примере проекта строительства «Морского терминала для перевалки сжиженных углеводородных газов (СУГ) в районе бухты Перевозной Приморского края» (МТ СУГ).

Так, компания ООО «Восток ЛПГ», которая недавно вышла с проектом строительства «Морского терминала для перевалки сжиженных углеводородных газов в районе бухты Перевозной Приморского края», не предоставила документацию для проведения экспертизы ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ», хотя эта общественная организация зарегистрировалась на ОЭЭ по всем правилам и в положенный срок. Основанием для отказа была формулировка, что запрошенная информация является коммерческой тайной и для ознакомления с этой информацией необходимо соблюдение режима секретности. Хотя в настоящее время закон предусматривает, что режим тайны не может распространяться на экологическую информацию (п. 12, ст. 5, ФЗ № 98 от 29.07.2004, ред. от 14.07.2022 «О коммерческой тайне») [6], а также на сведения, обязательность раскрытия которых установлена иными федеральными законами (п. 11, ст. 5) [6]; в данном случае законом об общественной экологической экспертизе [3].

Согласно п. 4 ст. 5 Федерального закона [6] режим коммерческой тайны не может быть установлен лицами, осуществляющими предпринимательскую деятельность, в отношении сведений о загрязнении окружающей среды, санитарно-эпидемиологической и радиационной обстановке и других факторах, оказывающих негативное воздействие на обеспечение безопасного функционирования производственных объектов, безопасности каждого гражданина и безопасности населения в целом.

В результате затягивания администрацией Хасанского района и руководством ООО «Восток ЛПГ» процесса проведения ОЭЭ по проекту «Морского терминала для перевалки сжиженных углеводородных газов (СУГ) в районе бухты Перевозной Приморского края» общественная экологическая экспертиза не была проведена в срок до окончания государственной экологической экспертизы.

Компания ООО «Восток ЛПГ» подпадает под категорию компаний-временщиков. Заявленный проект по перевалке сжиженных углеводородных газов представляется компанией как инновационный и безопасный. Однако согласно документации, которая ранее была предоставлена компанией в общественный доступ, на данном терминале планируется перевалка 1 000 000 000 кг СУГ в год. При этом доставка газа должна будет осуществляться не по газопроводу или иному пути отдельно от основных транспортных магистралей Приморского края, а непосредственно по железной дороге в цистернах. Такая транспортировка априори должна будет привести к транспортному коллапсу в связи с загруженностью железной дороги в Приморском крае в целом и отдельно по ветке г. Уссурийск – пос. Хасан.

Наибольшую опасность представляет тип газов, которые предполагается транспортировать в огромных объемах из Сибири в Приморский край. ООО «Восток ЛПГ» планирует работать с пропаном и бутаном, а эти газы тяжелее воздуха, и в случае утечки они могут накапливаться в низинах или у поверхности воды, что может привести к аварийным ситуациям, приводящим к неконтролируемым взрывам.

Следует отметить, что и место строительства столь мощного газового терминала (заявленная мощность 1 млн т в год), с точки зрения безопасности выбрано крайне неудачно. Непосредственная близость от города Владивостока (менее 11 км до Владивостока и менее 25 км непосредственно до центра города) несет опасность отравления населения в случае утечки газа, а в случае распространения тяжелых

углеводородов по морской поверхности непосредственно до территории агломерации Владивосток может возникнуть и опасность мощного взрыва. К примеру, в 1989 г. под Уфой смесь пропана и бутана, вытекшая из газопровода по причине его неисправности, привела к гибели 645 человек [7, 8]. Мощность взрыва была оценена в 200–300 т в тротиловом эквиваленте; по другим данным мощность составила 12 кт. Для сравнения: взрыв в Хиросиме был мощностью в 16 кт.

Проект МТ СУГ и с экономической точки зрения выглядит недостаточно проработанным. Гораздо эффективнее было бы размесить подобный объект на территории, где уже имеется железная дорога, и подальше от объектов ООПТ. По предложениям ООО «Восток ЛПГ» МТ СУГ собираются расположить вблизи от границы старейшего в России биосферного заповедника «Кедровая Падь» (входит в Национальный парк «Земля леопарда»).

Для создания промышленных кластеров с включением ЭОП можно было бы рассмотреть менее значимые в природоохранном смысле малонаселенные территории, например северную часть Приморья в районе Рудной Пристани, где строительство железнодорожного пути, соединенного с транссибирской магистралью, было бы более оправдано и экономически выгодно. К примеру, такой вариант (проведение железной дороги в Ольгу и Рудную Пристань) для развития перевалки угля недавно был предложен минпромторгом Приморья. Развитие инфраструктуры на севере Приморья помогло бы разгрузить южные порты и ослабить нагрузку на рекреационное побережье южных территорий [9]. Подобный проект был бы выгоден как для экономики края, так и для развития северного морского пути; сократилось бы также логистическое плечо доставки газа через железнодорожные пути.

Развитие института общественной экологической экспертизы в Приморском крае – залог гармоничного развития региона

Всестороннее способствование проведению общественных экологических экспертиз должно стать общим делом власти, надзорных органов, науки и общественности. Ответственное отношение к окружающей среде позволит не только улучшить экологическое состояние природных экосистем в России, но и поможет грамотно и максимально безопасно вписать экологически опасные производства в инфраструктуру регионов. Это будет выгодно и с экономической точки зрения, если, конечно, планировать развитие наших территорий, ориентируясь на зеленое и безопасное будущее. Безусловно, в первую очередь нужно заботиться о здоровье и жизни людей, нельзя допустить повторения «уфимской» катастрофы 1989 г. и других катастроф, подобных ей. Такие страшные уроки не должны повториться.

Практику проведения общественной экологической экспертизы в Приморском крае следует изменить. В первую очередь должностную и профессиональную поддержку общественным независимым экспертам должны оказывать представители прокурорского корпуса, а также профессиональные юристы региональных государственных структур. Следует искать и находить пути для консенсусного принятия решений на площадке реальных, а не «карманных» общественных экологических советов с участием ученых, специалистов, экологических активистов, зарекомендовавших себя независимыми, объективными экспертами. Участие независимых экспертов в ОЭЭ призвано способствовать: снижению уровня коррупционных рисков в системе государственного управления, повышению открытости и прозрачности системы государственной службы, обеспечению объективности в принятии

управленческих решений, защите прав и свобод граждан при реализации экологически опасных проектов [10].

Следует продумать и проблему финансирования проведения ОЭЭ. По словам специалистов, самая скромная общественная экологическая экспертиза небольшого объекта может стоить не менее 60 000 руб. Денежные средства расходуются на: 1) публикацию информационного сообщения о начале экспертизы и ее результатах в СМИ; 2) размножение объекта экспертизы для экспертов (эти расходы занимают значительную часть, поскольку, как правило, комиссии ОЭЭ состоят из 8–12 человек, а объем документации занимает иногда до 1000 листов и более); 3) оплату работы экспертов, включая расходы на транспорт (например, для выезда комиссии на место) [4]. Не каждая общественная организация располагает такими финансовыми средствами. Поэтому необходимо рассмотреть возможности создания общественных фондов на поддержку деятельности независимых экспертов при проведении ОЭЭ. Формирование экологических фондов может происходить за счет средств, поступающих в виде: платы за нормативные и сверхнормативные (лимитные и сверхлимитные) выбросы и сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, размещение отходов, другие виды загрязнения; сумм по искам о возмещении вреда, штрафов за экологические правонарушения; средств от реализации конфискованных орудий охоты, рыболовства, незаконно добытой с их помощью продукции; пожертвований от юридических и физических лиц, которые зачисляются на специальные счета, и других источников.

Заключение

Общественная экологическая экспертиза является одной из немногих процедур, которая действительно может быть эффективной для приостановки, изменения или корректировки экологически опасных проектов, способствовать исключению или снижению нарушений при их строительстве и реализации. Но эффективность данного механизма напрямую зависит от честной и независимой работы государственных надзорных органов, стоящих на страже соблюдения природоохранного законодательства в Приморском крае. Как говорили в древности: «Там, где законы в силе, — там и народ силен» (Публий Сир, I в. до н.э.). В Приморском крае следует всячески развивать институт независимых экспертов, так как в современной России повышение эффективности взаимодействия органов государственной власти и институтов гражданского общества заявлено в качестве одной из приоритетных задач государственной политики [9]. Только в случае соединения интересов государства и интересов общества Приморский край сможет развиваться гармонично, то есть так, чтобы экономическое развитие и экологические приоритеты не вступали в противоречие.

***Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества № 18-2-011758 и 19-2-023124 и гранта Всемирного фонда дикой природы WWF1421/RU013610.*

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Конституция РФ. Статья 42. Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением // Конституция РФ. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/constitution/item>

2. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Президент России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718>
3. Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» // Президент России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/8509>
4. Кадомцева, А.Е. Проблемы проведения общественной экологической экспертизы / А.Е. Кадомцева // Современное право, 2013. – № 1. – С. 20–22.
5. Лисицына, Н.А. Как провести общественную экологическую экспертизу? / Н.А. Лисицына. – Москва: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2020. – 76 с.
6. Федеральный закон от 29.07.2004 № 98-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «О коммерческой тайне» // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_48699/1baefc3a58183ff7712fb7baf06689440ed24c98/
7. Катастрофа, которой не было ни до, ни после СССР // Свободная пресса. – URL: <https://svpressa.ru/society/article/9647/>
8. Железнодорожные катастрофы на территории России // Вести. RU. – URL: <https://www.vesti.ru/article/2196231>
9. Развивать перевалку угля в Ольге и Рудной Пристани предложил минпромторг Приморья // Новости VL.Ru. – URL: <https://www.news.vl.ru/economics/2022/02/14/206628/#ixzz7cbQJRps5>
10. Плотников, А.А. Институт независимых экспертов как форма общественного контроля в системе государственной гражданской службы / А.А. Плотников // Юрист-Правовед. – 2014. – № 6 (67). – С. 40–43.

Информация об авторе

Дроздов Константин Анатольевич, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования, Тихоокеанский институт биорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН. E-mail: drovsh@yandex.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 12. PUBLIC ENVIRONMENTAL EXPERTISE IN PRIMORSKY KRAI: WORK EXPERIENCE AND OPTIMIZATION SUGGESTIONS

Konstantin A. Drozdov¹

Abstract. The chapter deals with the problems of conducting public ecological expertise (PEE) of environmentally hazardous projects. Examples of carrying out PEE from the practice of the FEIEPO "Green Cross" are given. Proposals are being made to optimize the work of public environmental experts by strengthening ties with state control services and developing the institute of independent experts.

Keywords: environmental safety; environmental protection and public health.

Information about authors

Konstantin A. Drozdov, Ph.D., Researcher of the Laboratory of physico-chemical research methods, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry FEB RAS. E-mail: drovsh@yandex.ru

¹ G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 660022, Russia.

Глава 13. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Н.В. Иваненко¹, В.И. Голов², М.Л. Бурдуковский²

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-121-130>

Аннотация. Приводится обзор литературных источников отечественных и зарубежных авторов, официальных документов (государственных докладов) о проблеме утраты почвенных ресурсов, об их деградации, а также о влиянии отечественных и китайских агротехнологий на степень утраты плодородия пахотных почв Приморского края и провинции Хэйлунцзян (КНР). Приведены данные об изменении агроэкологических показателей почв в связи с технологией их возделывания. Обсуждаются оригинальные результаты исследований авторов, посвященные агроэкологической оценке состояния пахотных почв Приморского края.

Ключевые слова: пахотные почвы Приморского края; почвенная деградация; агрохимические показатели; загрязнение почв; почвенное плодородие.

Почва является самым сложным биокосным материалом на планете; на нее приходится значительная доля генетического биоразнообразия. По данным биологов-генетиков именно в почвах обитает 92 % ныне известных генетических видов животных и растений [1]. Плодородие почвенно-экологических систем, их способность воспроизводить биомассу, приспосабливаться к режиму географической среды стали основой существования, жизнедеятельности, а затем и хозяйственной деятельности человека. Поэтому почвенный покров является важнейшим звеном в механизме биосферы и в то же время ее продуктом [2]. Это уникальное природное тело – незаменимое национальное богатство нашей страны – сегодня нуждается в особой охране.

Деградация почв во всем мире приобретает угрожающие размеры. Ежегодные глобальные потери плодородных почв составляют по разным данным до 10–15 млн га полезной сельскохозяйственной и лесной площади [3].

Интенсивная деградация сельскохозяйственных почв Дальнего Востока и Приморского края берет начало в 1990-х гг.; связана с сокращением посевных площадей, разрушением сельскохозяйственных предприятий, прекращением поставок и применения минеральных удобрений. Существенной причиной утраты почвенного плодородия является отсутствие ответственности природопользователей в сохранении и восстановлении почвенных ресурсов: многие хозяйствующие субъекты, осваивающие пахотные земли, основной целью своей деятельности ставят получение прибыли.

Целью работы является обобщенная оценка экологического состояния пахотных почв Приморского края и эффективности их использования в контексте применения агротехнических мелиоративных мероприятий.

¹ Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41.

² Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1.

Использование земельных ресурсов Приморского края

В Приморском крае имеется 1857,8 тыс. га сельскохозяйственных земель, в том числе 755,1 тыс. га пашни. Согласно официальным данным, опубликованным в 2022 г., в Приморском крае из 104 тыс. га мелиорированных земель 72,5 тыс. га находятся в неудовлетворительном состоянии. Плодородие пахотных почв в крае продолжает снижаться. Огромные площади земель, утратившие хозяйственную ценность или являющиеся источниками негативного воздействия на окружающую среду, относят к категории нарушенных, в связи с изменением водного режима и образованием антропогенных ландшафтов в результате производственной деятельности. Приморский край находится в перечне районов Российской Федерации с наибольшей площадью земель, на которых выявлено ухудшение агрохимических показателей, определяющих плодородие почвы (оптимальная кислотность, содержание доступных форм питательных элементов, органического вещества), установленных в ходе проведения контрольно-надзорных мероприятий. Причиной снижения уровня плодородия считают преимущественно технологическую (эксплуатационную) деградацию почв (загрязнение земель, физическая деградация, агроистощение) [3].

Для сельскохозяйственных угодий Приморского края характерны следующие негативные процессы: периодическое переувлажнение, затопление, заболачивание, химическое загрязнение, закисление. По данным 2020 г. в отдельных районах края (Спасский и Лесозаводский) переувлажнено 30 % почв от площади муниципального образования [4].

Обследование почв сельскохозяйственного назначения в 2020 г. выявило увеличение содержания остаточных количеств пестицидов в Уссурийском районе (ГХБ, трефлан, сумма ДДТ), Кировском, Ханкайском районах (трефлан, сумма ДДТ). К категории очень сильного загрязнения отнесены почвы Ханкайского района. В 2021 г. обнаружены остаточные количества (ОК) пестицидов в Октябрьском и Уссурийском районах (сумма ДДТ, ГХБ), Черниговском и Кировском районах (сумма ДДТ, трефлан). В почвах Ханкайского района содержание ДДТ превысило ПДК в 3,6 раза (категория сильного загрязнения), также установлены следовые количества ОК ГХБ, трефлана, ОК суммы ГХЦ. Зафиксировано превышение норматива ПДК суммы ОК ДДТ в 1,14 раза в почвах Чугуевского района (категория слабого загрязнения) [5, 6]. Пестицидная нагрузка на окружающую среду вызывает мутацию растений, способствует распространению устойчивых к ядохимикатам сорных трав, тем самым снижает урожайность, разрушает и усиливает загрязнение почв и водоемов и, соответственно, наносит значительный ущерб окружающей среде.

Причины деградации пахотных почв Приморского края

Обеспечение населения Приморского края собственным продовольствием, в том числе за счет развития сельского хозяйства, вовлечения в оборот залежных земель, является одной из приоритетных задач экономики региона [7]. В связи с этим в центре внимания экологов оказывается проблема деградации пахотных почв.

Экологическое состояние пахотных почв ДФО начиная с 1990 г. Систематически, как прежде, не анализировалось ввиду того, что ответственная за это система агрохимического обслуживания была ликвидирована, как и Росгипрозем, или перепрофилирована, а новая так и не появилась.

Качество сельскохозяйственных угодий в регионе, по данным научно-исследовательских организаций ДВО РАН и ДВО РАСХН, было признано неблагополучным [8–10]. Экологически неадаптированное земледелие приводит к утрате почвенных ресурсов и, соответственно, рискует сохранением биоразнообразия. Ситуация осложнилась с появлением на Дальнем Востоке нашей страны китайских арендаторов, применяющих технологии с усиленной химизацией, ориентированные на монокультуру. В частности, в постсоветский период около 80 % рисовых полей в Приморском крае обрабатывалось при участии китайских и южнокорейских предприятий [11]. Помимо риса китайские аграрии выращивают на российских землях сою и овощные культуры.

Площадь арендуемых китайцами земель в настоящее время только в Приморье и Приамурье составляет около 50 тыс. га. Использование китайскими аграриями сомнительных средств защиты растений и удобрений наносит значительный ущерб окружающей среде [10, 12, 13].

Деградацию почвенного покрова в результате длительного применения удобрений и других агротехнических мероприятий (обработка почвы, ее орошение), вторичного засоления и опустынивания разумнее всего рассмотреть не только как складывающуюся экологическую ситуацию на полях в восточных регионах нашей страны, но и важно проанализировать, как обстоят дела в этом отношении в Китае. Во-первых, Китай – страна древней земледельческой культуры, насчитывающая несколько тысячелетий. Во-вторых, агрохимическая практика китайских производителей, сложившаяся в последние годы, свидетельствует о том, что при выращивании культур в этой стране в почву вносится большое количество удобрений, превышающее среднемировое в 10 и более раз. По уровню использования пестицидов Китай в настоящее время прочно удерживает первое место в мире. Поэтому вероятность возникновения экологических проблем, связанных с интенсивной химизацией и эксплуатацией почвенных ресурсов, намного более реальна, чем в восточных регионах России, граничащих с Китаем. Об этом свидетельствуют источники как российских ученых, работавших в Китае, так и китайских исследователей [13, 14]. В-третьих, побуждающая нас изучать агрохимический и экологический опыт Китая, заключается в территориальной близости, которая предполагает идентичность почвенно-климатических и некоторых других условий сельскохозяйственного производства.

В опубликованной авторами ранее работе [13] приведены результаты определения основных агрохимических показателей почв, залегающих в однотипных условиях (генетических и геоморфологических), распространенных как в Китае, так и на Дальнем Востоке России, – содержания гумуса, поглощенных оснований, подвижного калия и рН. К примеру, пойменные почвы отбирались на правом и левом берегах Амура (на опытном поле института земледелия в пригородах г. Хэйхэ Хэйлунцзянской провинции и в пригороде Благовещенска Амурской области). Луговые черноземовидные почвы, отобранные в Китае и России, также весьма схожи по морфологическим, генетическим и физико-химическим свойствам, хотя были отобраны на более отдаленных участках, но в идентичных условиях залегания (геоморфологических и орографических). Оказалось, что все вышеприведенные показатели предпочтительнее выглядели в наших почвах, менее деградированных при умеренном внесении минеральных удобрений и ядохимикатов. Аналогичные данные получили и китайские почвоведы.

Общеизвестно, что для решения продовольственной проблемы современный Китай ориентируется на политику самообеспечения сельскохозяйственной продукцией. Несмотря на то, что современные аграрные реформы КНР направлены на комплексное развитие сельского хозяйства с включением неземледельческих направлений, земледелие остается основой агропромышленного комплекса в Китае.

Актуальна для Китая проблема сохранения доли и качества пахотных земель. По данным на конец 2003 г. площадь пашни в КНР равна 123,4 млн га, что составляет менее 10 % от мирового показателя; учитывая тот факт, что на Китай приходится 22 % населения планеты, размер пашни на душу населения равен всего 0,095 га (46,4 % от среднемирового уровня). Кроме того, порядка 60 % пахотных земель расположены в регионах, характеризующихся дефицитом воды либо подверженных засолению, эрозии или опустыниванию почв [15]. Согласно сводке за 2006 г. об изменении землепользования в масштабах всей стране, опубликованной Министерством земельных и природных ресурсов КНР, площадь пахотных земель составила 121,8 млн га, что на 306,8 тыс. га меньше по сравнению с показателем конца предыдущего года. Сокращение пахотных земель Китая приближается к так называемой «красной черте», обозначенной не менее 120 млн га (минимальный размер пашни, необходимый для обеспечения продовольственной безопасности государства) [16].

В первое десятилетие XXI века утрате почвенных ресурсов Китая – страны с быстро развивающейся экономикой способствовало усиление урбанизации и индустриализации. Конверсия лесов в земли под застройку привела к дополнительным экологическим потерям – обезлесиванию территорий. Развитие крупнейших отраслей промышленности, таких как энергетика, металлургия, машиностроение и химическая промышленность, неизбежно повлияло на состояние окружающей среды в провинциях Китая, в зависимости от специфики расположенного там производства [17].

Ввиду нехватки пахотных земель китайские земледельцы научились получать три и более урожаев с одного обрабатываемого участка, чему способствовали не только благоприятные для растениеводства природные условия в отдельных районах (провинция Сычуань, долина нижнего течения реки Янцзы и субтропическая провинция Гуандун), но и особенности агротехники [18]. Как уже упоминалось ранее, в последние 30 лет в Китае в почвы вносятся удобрения в количестве, многократно превышающем среднемировое. Только применение азотных удобрений превышает среднемировую величину в 4 раза [13]. Согласно данным официального источника Китая – газеты Жэмин Жибао за 2021 г., потребление азотных удобрений в стране увеличилось на 257 тыс. т, что значительно усилило нагрузку на окружающую среду [19]. Чрезмерное использование удобрений и пестицидов, так же как и промышленные выбросы в атмосферу, нанесло значительный ущерб окружающей среде Китая [20–22]. Ежегодные прямые экономические издержки, связанные с деградацией земель, достигают 540 млрд юаней, в то время как косвенные издержки примерно вдвое превышают эту сумму [23]. Стоит отметить, что современный Китай стремится к «зеленому развитию» своих территорий, экологизации всех отраслей народного хозяйства. Несмотря на стремление к решению собственных экологических проблем, технологии, которые китайские производители привносят на российские территории, где находятся самые продуктивные земли в ДВФО (Приморском крае, Амурской области, Еврейской автономной области), не изменились и при-

водят к тем же экологическим проблемам, с которыми столкнулся сам Китай, – утрата почвенных ресурсов, загрязнение водоемов и пр. В связи с нарушениями, регулярно выявляемыми Россельхознадзором и освещаемыми в открытых источниках, в 2022 г. в Приморском крае не выдана ни одна квота на иностранную рабочую силу в сельском хозяйстве.

В аграрной истории Приморского края были периоды как подъема, так и снижения темпов роста производства сельскохозяйственной продукции. Экономический кризис постсоветского периода нашей истории обусловил общий спад сельскохозяйственного производства в Приморском крае. В настоящее время трудно проследить историю возделывания конкретных полей в пределах отдельно взятого сельскохозяйственного района Приморского края (понять, применялся ли севооборот, сколько лет арендованный участок находился в эксплуатации, какие применялись агротехнические приемы) ввиду отсутствия такой информации в доступных источниках. Но в отличие от китайской технологии традиционная агротехника выращивания сельскохозяйственных культур, сложившаяся в России за последние 30 лет, после распада СССР не была ущербной в экологическом отношении, что подтверждается в научных работах отечественных исследователей [8, 9, 13].

Агрохимические показатели пахотных почв Приморского края

За экологическое состояние почв принимают основные параметры – содержание гумуса, обменных катионов, элементов, обеспечивающих плодородие почвы, реакцию среды, биологическую активность почвы.

В 2017, 2019 и 2022 гг. авторами были получены новые данные по экологическому состоянию пахотных почв Приморского края, основанные на оценке содержания гумуса, обменных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}), реакции среды, содержания фтора, подвижных и валовых форм Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb. Исследования образцов проводили в специализированных лабораториях, использовали техническую базу Центра коллективного пользования биотехнологии и генетической инженерии (Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН), техническую базу Центра коллективного пользования Дальневосточного федерального университета (ЦКП ДВФУ) и приборную базу ФГБОУ ВО Владивостокского государственного университета [10, 24–26]. Исследовались поля, занятые посевами риса, сои и овощными культурами, находящиеся в аренде у китайских производителей не менее 10 лет. Полученные агрохимические показатели сравнивали с показателями целинных и залежных участков, а также пахотных почв, используемых отечественными производителями, где агротехника была традиционной, свойственной нашему региону [10].

Установлена дегумификация почв двух районов Приморского края. В Спасском районе содержание гумуса за 10 лет уменьшилось на 20 %, в Хасанском – почти наполовину (47,0 %). Как показали более ранние исследования, проведенные в длительных опытах на луговых черноземовидных почвах ВНИИ сои, умеренное применение одних минеральных удобрений в течение 50 лет привело к снижению содержания гумуса с 4,9 до 3,8 %, а на лугово-бурых почвах ПримНИИСХ за тот же срок – с 4,2 до 3,8 %.

Применение китайской технологии кроме дегумификации почв способствовало увеличению их кислотности и снижению суммы поглощенных оснований

по сравнению с залежными почвами и почвами, где использовалась отечественная технология, что также свидетельствует о глубокой их деградации.

Следует обратить внимание на тот факт, что используемая китайскими арендаторами технология способствует нарушению естественного соотношения поглощенных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} , которое обычно характерно для целинных и пахотных почв. Оптимально, когда в ППК почв на единицу магния приходится от 2,5 до 5 единиц кальция. Избыток обменного магния в почвах приводит к ухудшению не только химических, но и физических свойств почв.

Избыток магния, как и азота, зачастую провоцирует распад органического вещества в сторону его сбраживания, в результате чего выделяются спирт, формальдегид и другие консерванты и стерилизаторы, которые подавляют деятельность полезной микрофлоры и тем самым задерживают минерализацию органики, необходимой для жизнедеятельности растений, а также микрофлоры и микрофауны.

Длительное внесение в почву удобрений может способствовать накоплению подвижных форм тяжелых металлов в пахотном слое, способных привести к загрязнению растительной продукции, попаданию их в трофические цепи, одним из звеньев которых является человек. Опыт с длительным применением минеральных, органоминеральных удобрений и извести на лугово-бурых почвах (проводимый на базе агрохимического стационара ПримНИИСХ ДВНМЦ РАСХН) показал превышение концентраций валовых форм тяжелых металлов (определены методом энергодисперсионной рентген-флуоресцентной спектроскопии на анализаторе EDX 800HS-P Shimadzu, Япония) в вариантах с использованием различных видов удобрений относительно контроля: никеля – на 22 %, хрома – на 5 %. Кроме того, концентрация хрома превысила кларк для Приморского края почти в 1,5 раза, меди – в 2 раза. Свинец превышал кларк для России в 3 раза. При этом превышений ПДК не было установлено [24].

В варианте с применением органоминеральных удобрений совместно с известью содержание водорастворимых форм фтора было практически в 2,5 раза выше, чем в контрольном варианте и в варианте с использованием минеральных удобрений (фтор определяли рентгенофлуоресцентным методом на анализаторе EDX 800HS-P Shimadzu). Установлено, что применение органоминеральных удобрений совместно с известью будет способствовать сохранению плодородия почвы [24, 26].

Результаты, полученные на сельскохозяйственных полях Спасского и Хасанского районов Приморского края, свидетельствуют о том, что применение удобрений осуществляется без научно-обоснованных расчетов, в связи с чем наблюдается ухудшение экологического состояния почв по содержанию Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, что может явиться причиной их накопления в возделываемых культурах. Металлы извлекали ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 и определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии с использованием атомно-адсорбционного спектрометра AA-6601F фирмы Shimadzu в пламени ацетилен-воздух. Сравнительный анализ подвижных форм Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb показал, что минимальные концентрации элементов отнесены к целинным и залежным землям. В зависимости от характера использования поля уровни концентрации элементов отличались от целинных и залежных участков: Zn – в 3–6 раз; Cu, Co и Ni ~ 2–3 раза; Mn – в 1,5–2,4 раза. Наибольший разброс значений отмечался для Cr и Pb. Концентрации Cr были выше в 8–30 раз, по отношению к целинным и залежным участкам, Pb – в 1,4–12 раз [25].

На полях Спасского района, занятых овощными культурами (технология РФ), установлено превышение ПДК свинца в 1,4 раза, в почвах полей под посевами риса (технология КНР) – в 1,1 раза. Концентрации свинца в почве под культурой сои (технология КНР) Хасанского района превышали ПДК в 4,4 раза. Концентрация меди превышала ПДК в 1,5–3,6 раза [25].

Заключение

Побочным эффектом интенсивной химизации отдельных сельскохозяйственных районов Приморского края явилась деградация почв, выражающаяся в изменении их физико-химических показателей, структуры почвы.

Деградация почв приводит к последствиям, которые включают не только потерю питательных веществ, подкисление, изменение структуры почвы, но и влекут за собой комплекс экологических проблем, таких как утрата экосистемных функций почвы и, как следствие, сокращение пригодных для использования сельскохозяйственных земель, эвтрофикация водоемов, снижение биоразнообразия, изменение структуры популяций и сообществ живых организмов. Химические методы повышения плодородия почв и стрессоустойчивости растений, как показывает мировой опыт, уже не имеют прежней эффективности. Современная концепция ведения сельского хозяйства предполагает сочетание агротехнических (севообороты, разные способы механической обработки почвы), биологических и химических методов. В научной литературе публикуется заметно больше работ по экологии почв.

В связи с вышеизложенным можно сказать о необходимости изменения практики внесения минеральных удобрений (один раз за вегетацию весной перед посевом или осенью перед вспашкой зяби). Особенно это касается азотных удобрений, которые легкорастворимы и вымываются дождями, поэтому к моменту созревания и налива зерна они в почвах не обнаруживаются. Мочевина и селитра к тому же в жаркую погоду разлагаются в форме закиси азота или аммиака (в посевах риса). Поэтому их лучше вносить в почву дробно в течение вегетации, как это делается в закрытом грунте, либо с природными адсорбентами, специально подготовленными для этой цели (цеолиты, гуматы, торфо-гуминовые удобрения и т.д.).

Одним из направлений повышения плодородия почв, реабилитации деградированных экосистем является управление почвенной микробиотой, переход к биологическому земледелию. Для этого рекомендуется шире применять бактериальные удобрения, содержащие активные штаммы клубеньковых и свободноживущих микроорганизмов, а также систематически поддерживать их жизнедеятельность более эффективной микрофлорой (ЭМ-1, Байкал и др.).

Необходима централизованная система, обеспечивающая научно-методическую помощь сельскохозяйственным предприятиям, фермерским (крестьянским) хозяйствам и населению для проведения мелиоративных работ и регулирующая применение технологий земледелия, ориентированных на сохранение физических, химических и биологических свойств почвы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Добровольский, Г.В. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / Г.В. Добровольский и др. – Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2011. – 273 с.

2. Ковда, В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира / В.А. Ковда. – Москва: Наука, 2008. – 414 с.
3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии: официальный сайт. – 2022. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>
4. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии: официальный сайт. – 2021. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>
5. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2020 году // Правительство Приморского края: официальный сайт. – 2021. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php>
6. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2021 году // Правительство Приморского края: официальный сайт. – 2022. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php>
7. Государственная программа Приморского края «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2020–2027 годы (утверждена постановлением Администрации Приморского края от 27 декабря 2019 года № 933-па) // Министерство сельского хозяйства Приморского края: официальный сайт. – 2019. – URL: http://www.agrodv.ru/f/933-pa_ot_27.12.2019_gp_sh_do_2027_1.pdf
8. Синельников, Э.П. Агрогенезис почв Приморья / Э.П. Синельников, Ю.И. Слабко. – Москва: Изд-во ГНУ ВНИИА, 2005. – 280 с.
9. Костенков, Н.М. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока / Н.М. Костенков, В.И. Оздобихин // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 517–520.
10. Голов, В.И. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования / В.И. Голов, М.Л. Бурдуковский, Н.В. Иваненко, Ю.А. Попова // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2020. – № 1 (209). – С. 66–74.
11. Сухомиров, В.И. Рисоводство на Дальнем Востоке России: развитие, проблемы, перспективы / В.И. Сухомиров // Регионалистика. – 2018. – Т. 5, № 18. – С. 45–57.
12. Росликова, В.И. О состоянии почвенных ресурсов на приграничных территориях России и Китая / В.И. Росликова // Вестник ДВО РАН. – 2012. – № 6. – С. 114–119.
13. Голов, В.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на экологию почв юга Дальнего Востока / В.И. Голов, М.Л. Бурдуковский, И.Г. Ковшик // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока. – 2013. – Т. 2. – С. 17–27.
14. Илахун, А. Содержание гумуса в почвах Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР / А. Илахун, Ж. Пинань, Ц. Зяньдон [и др.] // Вестник РАСХН. – 2010. – № 4. – С. 31–32.

15. Портяков, В.Я. Природные ресурсы и экономический рост Китайской Народной Республики / В.Я. Портяков // История и современность. – 2006. – № 1. – С. 147–155.
16. Площадь пахотных земель в Китае уже приблизилась к «красной черте» в 120 млн га // Газета «Жэминь жибао» он-лайн. – 2007. – 13 апреля. – URL: <https://yandexwebcache.net/yandbtm?fmode=inject&tm=1668482042&tld=ru&lang=ru&la=1611504768&text=сокращение+пахотных+земель+приближается+к+«красной+черте»&url=http%3A//russian.people.com.cn/31521/5613303.html&l10n=ru&mime=html&sign=e6ecc3b40c58611473e9b907271724b8&keyno=0>
17. Fu, S. Levels and distribution of organochlorine pesticides in various media in a mega-city, China / S. Fu, H.X. Cheng, Y.H. Liu, X.B. Xu // Chemosphere. – 2009. – Vol. 75. – P. 588–594.
18. Макарова, Е.П. Земельная реформа в Китае / Е.П. Макарова, Ц.Я. Чжу // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2010. – № 4. – С. 27–34.
19. Каковы плюсы и минусы импорта сои для природных ресурсов и сельскохозяйственных угодий Китая? // Газета «Жэминь жибао» он-лайн. – 2021. – 29 апреля. – URL: <http://russian.people.com.cn/n3/2021/0429/c31518-9844840.html>
20. Jungang, L. Assessment of 20 organochlorine pesticides (OCPs) pollution in suburban soil in Tianjin, China / L. Jungang, S. Rongguang, C. Yanming [et al.] // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 2010. – Vol. 85, no 2. – P. 137–141.
21. Чжэн, Л. Состояние природной среды и экологическая политика Китая / Л. Чжен // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2014. – № 8. – С. 335–338.
22. Sun, J.T. Organic contamination and remediation in the agricultural soils of China: A critical review / J.T. Sun, L.L. Pan, D.C.W. Tsang [et al.] // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 615. – P. 724–740.
23. Delang, C.O. The consequences of soil degradation in China: a review / C.O. Delang // Geoscape. – 2018. – Vol. 12. – P. 92–103.
24. Попова, Ю.А. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические свойства и экологическое состояние лугово-бурых почв Приморского края / Ю.А. Попова, М.Л. Бурдуковский, Н.В. Иваненко // Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие Дальневосточного региона России и стран АТР: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (26–28 апреля 2017 г.): в 5 т. Т. 3 / под общ. ред. д-ра экон. наук О.Ю. Ворожбит; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2017. – 396 с.
25. Попова, Ю.А. Содержание металлов в пахотных почвах Приморского края / Ю.А. Попова, Н.В. Иваненко // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 5. – С. 65–69.
26. Бурдуковский, М.Л. Агрогенные и постагрогенные изменения запасов углерода и физическх свойств подбелов темногомусовых / М.Л. Бурдуковский, В.И. Голов, П.А. Перепелкина [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 6. – С. 747–756.

Информация об авторах

Иваненко Наталья Владимировна, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры экологии, биологии и географии, Международный институт окружающей

среды и туризма, Владивостокский государственный университет (МИОСТ ВВГУ). E-mail: Natalya.ivanenko@vvsu.ru

Голов Владимир Иванович, д-р биол. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник сектора биогеохимии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН). E-mail: golov@ibss.dvo.ru

Бурдуковский Максим Леонидович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник сектора биогеохимии, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. E-mail: mburdukovskii@gmail.com

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 13. ECOLOGICAL STATE OF ARABLE SOILS OF PRIMORSKY KRAI

Natalya V. Ivanenko¹, Vladimir I. Golov², Maksim L. Burducovskii²

Abstract. *The review of literary sources of Russian and foreign authors, official documents (state reports) on the problem of loss of soil resources, their degradation, as well as the impact of Russian and Chinese agricultural technologies on the level of fertility loss of arable soils of Primorsky Krai and Heilongjiang Province (PRC) is given. Data on changes in the agro-ecological indicators of soils related to the technology of their cultivation are given. The results of the authors' research on the agro-ecological assessment of the state of arable soils in Primorsky Krai are discussed.*

Keywords: *arable soils of Primorsky Krai; soil degradation; agro-ecological indicators; soil contamination; soil fertility.*

Information about authors

Natalya V. Ivanenko, Ph.D., Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Ecology, Biology and Geography, International Institute of Environment and Tourism, Vladivostok State University (VVSU), E-mail: natalya.ivanenko@vvsu.ru

Vladimir I. Golov, Dr. Sci., Principal Investigator of the Biogeochemistry Sector, Federal Scientific Center on the East Asia Terrestrial Biodiversity of FEB RAS (FSC EATB FEB RAS). E-mail: golov@ibss.dvo.ru

Maksim L. Burducovskii, Ph.D., Senior Researcher, of the Biogeochemistry Sector, FSC EATB FEB RAS. E-mail: golov@ibss.dvo.ru

¹ Vladivostok State University, Gogolya st., 41, Vladivostok, 690014, Russia.

² Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

Глава 14. О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ И НЕОБХОДИМОСТИ ПРИНЯТИЯ СРОЧНЫХ МЕР ПО СОХРАНЕНИЮ САХАЛИНСКОГО ТАЙМЕНЯ

С.С. Макеев¹

Аннотация. Сахалинский таймень *Parahucho perryi* (Brevoort, 1856) – уникальная редкая рыба с относительно узким локальным ареалом. Численность изолированных популяций вида повсеместно сокращается, он находится под угрозой исчезновения. В то же время вид находится под пристальным вниманием ученых и защитников природы. Это живой символ защиты водной среды обитания, как и амурский тигр – символ защиты тайги. Сахалинский таймень включен в перечень приоритетных видов, требующих первоочередных мер по его сохранению и восстановлению (1-я категория экологического статуса Красной книги Российской Федерации). При Министерстве природных ресурсов Российской Федерации создается раздел по редким рыбам для подготовки стратегии их сохранения.

Ключевые слова: сахалинский таймень; исчезающий вид; Красная книга Российской Федерации; стратегия сохранения.

Сахалинский таймень *Parahucho perryi* (Brevoort, 1856) является одной из крупнейших лососевых рыб одной из самых больших пресноводных рыб планеты.

Долгое время сахалинского тайменя относили к роду тайменей *Hucho*. Затем ему был придан статус рода на основе анализа краниологических и кариологических признаков. Положение вида на филогенетическом дереве, построенное по морфологическим признакам, дававшее основание считать его «самым древним лососем, основателем семейства лососевых» [1], современными молекулярными и генетическими методами не подтверждается [2, 3].

По всему ареалу сахалинский таймень имеет три экологические формы [4]:

1. Полупроходной, выходящий для нагула в морское побережье, но не отходящий далеко от устьев рек.
2. Озерно-лагунный, мигрирующий в пределах пресных и солоноватых вод.
3. Речной, проводящий весь жизненный цикл в крупных реках.

По особенностям экологической стратегии все таймени относятся к К-стратегам с многократным нерестом и со значительным возрастом и размерами первого созревания особей. Именно поэтому все они уязвимы, прежде всего, по отношению к нерациональному вылову [5].

Ареал и численность

Район обитания сахалинского тайменя относительно невелик; он включает бассейны северной части Японского моря и южной части Охотского моря. За длительный срок эволюции ареал вида не расширился из-за особенностей его биологии: из пресных вод таймень предпочитает мигрировать не далее эстуариев и приустьевого взморья. Воды повышенной солености являются для него существенной преградой.

¹ Сахалинский филиал ФГБУ «Главрыбвод», 693006, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Емельянова, 43-а.

В Японии он исчез на о. Хонсю и остался только на о. Хоккайдо в 12 реках, еще в 36 он считается исчезнувшим [6]. Ранее сплошной ареал этого вида на япономорском побережье Приморского края очень существенно сократился; в настоящее время достоверно известно существование его популяций только в 20 реках, из них в четырех популяции с хорошим здоровьем [5, 7]. Несколько лучше ситуация на территории юго-востока Хабаровского края. Здесь в реках Тумнин, Коппи и некоторых других все еще есть относительно многочисленные популяции тайменя, но и здесь ситуация также постоянно ухудшается [5].

Высокий темп сужения ареала сахалинского тайменя на острове Сахалин отмечается многими экспертами. В ходе многочисленных полевых экспедиций и опросов специалистов, рыболовов-любителей и местных жителей собрана предварительная информация о встречаемости вида в бассейнах рек. Интегральный список содержит 129 рек и около 20 озероподобных водоемов на о. Сахалин. На островах Итуруп и Кунашир субпопуляции отнесены в основном к озерам, и их известно соответственно 5 и 3. В этих водоемах как минимум однажды за последние 50 лет отмечен сахалинский таймень, хотя в значительной части из них он уже исчез. В списке субпопуляции разделяются на две категории согласно категориям Красной книги РФ: 1 – находящиеся под угрозой исчезновения (или уже исчезнувшие); 2 – сокращающиеся в численности.

Как известно, 217 речных бассейнов острова Сахалин подразделяются на шесть экорегионов IV уровня (табл. 14.1) [8].

Численность и биомасса сахалинского тайменя всегда были относительно небольшими, что вполне естественно, если принять во внимание занимаемую данным видом экологическую нишу. По некоторым оценкам скорость падения численности тайменя в реках Сахалина категории 2 составляет около 15–20 % в год [9].

Таблица 14.1

Список рек по экорегионам о. Сахалин

Экорегион	Всего рек	С наличием тайменя	Категория 1	Категория 2
Север	9	4	4	0
Северо-запад	11	11	11	0
Запад	73	33	28	5
Залив Анива	23	18	16	2
Юго-восток	46	32	27	5
Северо-восток	55	31	18	13
Всего	217	129	104	25

Экспертная оценка общей численности производителей для всех рек Сахалина – около 10 000 экз. Оценка общей численности молоди ближнего и дальнего пополнения для рек Сахалина – 500 тысяч экз. [4].

Существуют также оценки численности отдельных локальных популяций [4, 10–13]. В некоторых реках категории 1 таймень уже исчез, во многих встречается очень редко или единично. Из популяций, постоянно подверженных чрезмерной эксплуатации, изымается слишком много особей, и в конечном счете попу-

ляции доводятся до вымирания. Ограниченное число особей при отсутствии постоянных контактов друг с другом не может поддержать воспроизводство популяции.

Почему сахалинский таймень нуждается в особой охране?

Сахалинский таймень принадлежит к категории наиболее очевидных «кандидатов» на особую охрану [14]. Оснований для этого несколько:

1. Хищник, регулирующий численность популяций других видов и отсутствие которого в итоге ведет к падению видового разнообразия.

2. Вид, представители которого с человеческой точки зрения обладают духовной, эстетической, рекреационной или хозяйственной ценностью.

3. Редкий вид, оказавшийся под угрозой исчезновения по вине человека.

Сахалинский таймень принадлежит к категории видов, особенно подверженных вымиранию и нуждающихся в тщательной охране и контроле [15]:

- вид с относительно узким ареалом;
- вид с небольшим размером изолированных популяций;
- вид, демонстрирующий устойчивые признаки уменьшения размеров популяций;
- вид с низкой плотностью локальных популяций;
- вид, которому на протяжении жизненного цикла необходимы большие территории;
- вид крупного размера.
- вид, не способный к самостоятельному расселению;
- вид – сезонный мигрант;
- вид с низким внутривидовым генетическим разнообразием;
- вид с относительно узкоспециальными требованиями к экологической нише;
- вид, обитающий в стабильной среде (К-стратег);
- вид, образующий временные агрегации (зимовка);
- вид, на который охотится человек.

Для дальневосточников сахалинский таймень является харизматичным, «флаговым» видом, таким же живым символом лососевых экосистем, как амурский тигр – символ таежных экосистем. В случае возможной потери исчезнет уникальный таксон – монотипичный род. Ресурсная, научная и индикаторная тайменя значимость чрезвычайно высоки. Кроме того, он может играть роль «зонтика» для других видов рыб, так как борьба с браконьерством помогает сохранять и промысловых рыб в данном водоеме.

Для долговременного выживания популяций важно не только сохранение минимальной численности, но и достаточно высокое генетическое разнообразие. Оно определяется как числом генов с более чем одним аллелем (полиморфный ген), так и числом аллелей каждого полиморфного гена. Тогда в популяции появляются гетерозиготные особи, получающие от родителей различные аллели гена. Генетическая вариабельность позволяет виду лучше адаптироваться к изменениям окружающей среды. В целом редкие виды имеют меньшее генетическое разнообразие, чем широко распространенные, и более подвержены угрозе вымирания [15].

Что уже сделано?

На Сахалине в течение трех лет выполнялся проект «Изучение популяционной структуры сахалинского тайменя в целях выработки мер сохранения его

генофонда» группой Института общей генетики им. Н.И. Вавилова (Москва) под руководством д-ра биол. наук Л.А. Животовского. Основной целью работы являлось определение степени генетической дифференциации популяций сахалинского тайменя по ДНК-маркерам для оценки их репродуктивной изоляции друг от друга и выработки мер сохранения их генофонда.

Исследования по проекту подтвердили, что комплекс лимитирующих факторов приводит к снижению численности и фрагментации ареала сахалинского тайменя, что в свою очередь ведет к репродуктивной изоляции особей этого вида. Это может быть основной причиной генетической дифференциации популяций, что было выявлено при изучении полиморфизма ДНК-маркеров. С помощью этих маркеров можно оценить степень генетической дифференциации вида, размер минимальной эффективной численности, уровень инбридинга, миграций и другие популяционно-статистические данные, которые важны для разработки мер по охране и мониторингу редких видов.

В результате изучения популяционно-генетической структуры вида по всему ареалу [16–18] выделены единицы сохранения и разработана двухуровневая Стратегия сохранения сахалинского тайменя: 1-й уровень – защита всех одновременно популяций; 2-й уровень – сохранение нескольких ключевых популяций, представляющих единицы сохранения вида.

Еще в 2012 г. создана Сеть сохранения сахалинского тайменя (далее – СССТ), с 2017 г. функционирует сайт «Сахалинский таймень в XXI веке» как площадка для накопления информации о виде. Вопросы сохранения вида постоянно вносились в повестку работы Рабочей экспертной группы по биоразнообразию и Экологического совета Сахалинской области. В 2017 г. с участием экспертов из членов СССТ, местных специалистов и активистов проведена оценка угроз состоянию вида по методу Дельфи и разработан проект Плана действий по сохранению сахалинского тайменя на северо-востоке острова Сахалин. Главной угрозой признана переэксплуатация, а не деградация мест обитания (браконьерство – 62,0%; любительское рыболовство – 18,7%; промысловый прилов – 12,8%) [19].

В 2013 г. по предложению СССТ вид включен в список особо ценных видов животного мира. Согласно ст. 258.1 Уголовного кодекса Российской Федерации добыча, приобретение, хранение, перевозка, пересылка и продажа сахалинского тайменя любого размера – преступление! За совершение данных деяний предусмотрено наказание, в том числе в виде лишения свободы на срок до семи лет со штрафом в размере до 2 млн руб.

Постановлением Правительства РФ от 23.07.2022 № 1322 приняты таксы для исчисления размера ущерба, причиненного водным биоресурсам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации: за поимку одного экз. сахалинского тайменя (популяции Приморского края и Сахалинской области) – 42 540 руб.

Предложено внести сахалинского тайменя в перечень приоритетных видов, требующих первоочередных мер по их сохранению и восстановлению (1-я категория природоохранного статуса Красной книги РФ). Члены СССТ оперативно обратились с письмами в секцию экспертов по круглоротым и рыбам, и с минимальным перевесом (6 против 5) победила точка зрения сторонников 1-й категории [20].

В «Плане мероприятий по реализации Стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов в Российской Федерации на период до 2030 года (III этап, 2021–2030 годы)», утвержденном распоряжением Министрства природы России от 08.12.2021 № 53-Р,

полностью отсутствуют рыбы. На примере сахалинского тайменя видно, что целый ряд исчезающих видов рыб нуждается в срочных специальных мерах охраны. Необходимо, чтобы эти виды так же, как млекопитающие и птицы, попали в «План мероприятий», по ним были составлены стратегии или программы сохранения и найдено финансирование в рамках национальной программы «Экология».

Заключение

В апреле 2022 г. от имени участников Международного экологического форума «Сохранение биоразнообразия в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 50 лет Программе ЮНЕСКО “Человек и биосфера (МАБ)”» (Владивосток) составлено обращение к руководству Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации с просьбой обратить внимание на сохранение популяций рыб, занесенных в Красную книгу России [21]. Принято решение о создании при Министерстве секции по редким видам рыб, относящихся к 1-му приоритету природоохранных мер, для подготовки стратегий по их сохранению. Всего таких видов 8, но первоначально предполагается составить стратегии для четырех видов: сахалинского осетра, шипа, азовской белуги и сахалинского тайменя.

Учитывая потенциал СССТ и накопленные материалы, разработка Стратегии сохранения сахалинского тайменя (в границах Сахалинской области и Приморского края) выглядит вполне выполнимой задачей [22]. И тогда Правительство Российской Федерации примет на себя глобальную ответственность за сохранение уникального вида!

Список использованных источников

1. Глубоковский, М.К. Эволюционная биология лососевых рыб / М.К. Глубоковский. – Москва: Наука, 1995. – 343 с.
2. Шедько, С.В. Филогения лососевых рыб (Salmoniformes: Salmonidae) и ее молекулярная датировка: анализ ядерного гена RAG1 / С.В. Шедько, И.Л. Миросниченко, Г.А. Немкова // Генетика. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 1–5.
3. Животовский, Л.А. Эволюционная история тихоокеанских лососей и форелей / Л.А. Животовский // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 157. – С. 4–23.
4. Никитин, В.Д. Распределение, численность и проблемы охраны сахалинского тайменя о. Сахалин в современный период / В.Д. Никитин // Сайт СФ ФГБНУ ВНИРО (СахНИРО). – 2012. – www.sakhniro.ru/t/taimen/taimen.html
5. Золотухин, С.Ф. Таймени и ленки Дальнего Востока России / С.Ф. Золотухин, А.Ю. Семенченко, В.А. Беляев. – Хабаровск: ХО ТИНРО, 2000. – 128 с.
6. Fukushima, M. Reconstructing Sakhalin taimen *Parahucho perryi* historical distribution and identifying causes for local extinctions / M. Fukushima, H. Shimazaki, P.S. Rand, M. Kaeriyama // Transactions of the American Fisheries Society. – 2011. – No. 140. – P. 1–13.
7. Krupianko, N.I. Distribution and reproduction of char, taimen and grayling in the Primorie rivers / N.I. Krupianko // Fish productivity of the Amur River fresh waters and adjacent rivers. First International Symposium. – Khabarovsk: 29 October – 1 November 2002. – P. 21, 22.
8. Спрингмейер, Д. Ранжирование сахалинских речных бассейнов для сохранения лососевых / Д. Спрингмейер, М.Л. Пинский, Н.М. Портли [и др.] // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-

Курильском регионе и сопредельных акваториях. Труды СахНИРО. – 2007. – Т. 9. – С. 264–294.

9. Семенченко, А.Ю. Эффективность воспроизводства сахалинского тайменя *Parahucho perryi* в реках Сахалина и стратегия его охраны / А.Ю. Семенченко, С.Ф. Золотухин // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – Вып. 5. – С. 471–481.

10. Сафронов, С.Н. Морфологическая характеристика и состояние популяции сахалинского тайменя (*Parahucho perryi*) реки Даги (Ныйский залив, о. Сахалин) / С.Н. Сафронов, П.С. Сухонос // Межрегиональная научно-практическая конференция «Экономические, социальные, правовые и экологические проблемы Охотского моря и пути их решения». 17–19 мая 2006 г. – Петропавловск-Камчатский, 2006. – С. 62–64.

11. Золотухин, С.Ф. Рост и распространение сахалинского тайменя *Hucho perryi* (Brevoort) в речных бассейнах / С.Ф. Золотухин, А.Ю. Семенченко // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – Вып. 4. – С. 317–338.

12. Никитин, В.Д. Ихтиофауна залива Набиль (Сахалин) и роль в ней сахалинского тайменя по данным исследований в 2015–2016 гг. / В.Д. Никитин, В.С. Лабай // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – Вып. 7. – С. 168–184.

13. Никитин, В.Д. Сахалинский таймень (*Parahucho perryi*) в структуре ихтиофауны р. Набиль по данным исследований в 2015–2016 гг. / В.Д. Никитин, В.С. Лабай // Ученые записки СахГУ. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2018. – С. 19–32.

14. Жизнеспособность популяций: Природоохранные аспекты: пер. с англ. / под ред. М. Сулея. – Москва: Мир, 1989. – 224 с.

15. Примак, Р. Основы сохранения биоразнообразия. Серия учебных пособий «Сохранение биоразнообразия»: пер. с англ. / Р. Примак. – Москва, 2002. – 256 с.

16. Zhivotovsky, L.A. Ecogeographic units, population hierarchy, and a two-level conservation strategy with reference to a critically endangered salmonid, Sakhalin taimen *Parahucho perryi* / L.A. Zhivotovsky, A.A. Yurchenko, V.D. Nikitin [et al.] // Conservation Genetics. – 2015. – Vol. 16. – P. 431–441.

17. Юрченко, А.А. Генетическая структура популяций сахалинского тайменя *Parahucho perryi* Brevoort и вопросы природоохранной генетики вида: дис. ... канд. биол. наук / Юрченко А.А. – Москва: ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, 2015. – 168 с.

18. Животовский, Л.А. Популяционная структура вида и эко-географические единицы и генетическая дифференциация популяций / Л.А. Животовский // Биология моря. – 2016. – Т. 42, № 5. – С. 323–333.

19. План действий по сохранению сахалинского тайменя на северо-востоке Сахалина // Сахалинский таймень в XXI веке. – URL: https://sakhtaimen.ru/user-files/conservation/plan_deystviy_po_sokhraneniyu_st_na_sv_sahalina._2017.pdf

20. Шилин, Н.И. Сахалинский таймень / Н.И. Шилин // Красная книга Российской Федерации. Животные. – Москва, 2021. – С. 332–334.

21. Макеев, С.С. О важности сохранения сахалинского тайменя / С.С. Макеев, А.Ю. Семенченко, Н.И. Шилин // Материалы V экологической конференции «Актуальные проблемы экологии Дальнего Востока (памяти профессора Б.В. Преображенского)». – 2022.

22. Макеев, С.С. Стратегия сохранения сахалинского тайменя / С.С. Макеев, А.Ю. Семенченко, С.Ф. Золотухин [и др.] // II Всероссийская научная Интернет-конференция с международным участием «Биоразнообразие наземных и водных животных. Зооресурсы». – 2014. – С. 50–56.

Информация об авторе

Макеев Сергей Степанович, начальник Анивского районного отдела по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов, Сахалинский филиал ФГБУ «Главрыбвод». E-mail: smak02@mail.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 14. ON THE CURRENT STATE AND THE NEED FOR URGENT MEASURES TO PRESERVE THE SAKHALIN TAIMEN

Sergey S. Makeev¹

Abstract. Sakhalin taimen *Parahucho perryi* (Brevoort, 1856) is a unique, rare fish with a relatively narrow focal range. The number of isolated populations of the species is declining everywhere, it is endangered. While at the same time the species is under the scrutiny of scientists, conservation activists and nature lovers. It is a living symbol of the protection of aquatic habitats, as well as the Amur tiger – a symbol of the protection of taiga. Sakhalin taimen is included in the list of priority species requiring priority conservation and restoration measures (category 1 of the environmental status of the Red Book of the Russian Federation). Under the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, a section on rare fish is being created to prepare strategies for their conservation.

Keywords: Sakhalin taimen; endangered species; Red Book of Russian Federation; conservation strategy.

Information about authors

Sergey S. Makeev, Head of the Aniva District Department for Fisheries and Conservation of Water Biological Resources, Sakhalin branch of the Federal State Budgetary Institution "Glavrybvod". E-mail: smak02@mail.ru

¹ Sakhalin Branch of the Federal Budgetary Institution "Glavrybvod", 43-a Emelyanova str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, 693006, Russia.

Глава 15. ОПИСАНИЕ ПЕРИФИТОННЫХ АЛЬГОСООБЩЕСТВ УСТЬЕВОЙ ЗОНЫ БЕЗЫМЯННОГО РУЧЬЯ, ПРОТЕКАЮЩЕГО ПО ПОЛИГОНУ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (г. ВЛАДИВОСТОК)

Т.В. Никулина¹, В.П. Невельская², Д.С. Чебан²

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-138-155>

Аннотация. Получены данные о составе альгофлоры ручья, протекающего по территории городского полигона твердых бытовых отходов. Флора водорослей и цианобактерий представлена 82 видами (85 таксонами внутривидового ранга) из отделов: Cyanobacteria, Heterokontophyta, Euglenozoa, Bacillariophyta, Chlorophyta. К числу доминантов и субдоминантов отнесены 7 видов: *Phormidium uncinatum*, *Chlorococcum* aff. *infusioformis*, *Nitzschia umbonata*, *Gomphonema sarcophagus*, *Sellaphora nigri*, *Nitzschia palea* и *Craticula accommoda*. Впервые для альгофлоры российского Дальнего Востока указан вид диатомовых водорослей *Craticula accommoda* (Hustedt) Mann. При проведении эколого-географического анализа выявлено, что в альгофлоре преобладают бентосные, индифферентные к солености, алкалофильные, индифферентные к изменениям активной реакции среды и космополитные цианобактерии и водоросли. Показателями степени сапробности воды являются 79 видов и разновидностей водорослей (75,3% от общего числа выявленных таксонов); из них наиболее значительными являются две группы – олигосапробионты и бетамезосапробионты.

Ключевые слова: юг Дальнего Востока; городской водоток; альгофлора; сообщества перифитона; диатомовые водоросли.

Изучение видового богатства водной биоты в деградирующих водотоках на урбанизированных территориях г. Владивостока (п-ов Муравьева-Амурского) имеет большое значение в связи с необходимостью понимания биологических процессов, происходящих в речных экосистемах, находящихся в зоне антропогенного влияния. Исследования важны для оценки современного экологического состояния водотоков, выявления закономерностей изменения речных экосистем в условиях стресса, разработки научно обоснованных стратегий по сохранению и восстановлению городских водотоков, а также для принятия незамедлительных решений по проблеме сокращения в них биоразнообразия.

На территории городского округа Владивостока протекают многочисленные реки и ручьи, но все они имеют небольшие площади водосбора. К наиболее крупным городским водотокам относятся: река Обьяснения, Первая Речка, Вторая Речка, река Седанка (Пионерская), Черная, Богатая (впадают в Амурский залив залива Петра Великого, Японское море), Лазурная (впадает в Уссурийский залив).

Изучение видового богатства водорослей водотоков и водоемов города Владивостока и его окрестностей было начато в двадцатых годах прошлого столетия. Первые сведения об альгофлоре бассейна р. Седанка (Пионерская) приведены

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1.

² Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41.

В.Е. Ивановым в 1929 г. Он опубликовал список 46 видов водорослей из 9 отделов (Cyanophyceae, Chrysomonadineae, Heterocontae, Cryptomonadineae, Euglenaceae, Peridineae, Desmidiaceae, Volvaceae, Diatomaceae) [1].

Б.В. Скворцов для окрестностей Владивостока приводит список 42 видов диатомовых водорослей. Он описал диатомовую флору долины р. Лянчихе (Богатая), и из нее в качестве новых для науки предложил 20 видов [2].

А.Е. Проценко в 1939 г. указал три вида рода *Draparnaldia* из водоемов города Владивостока и его окрестностей – в реках Седанке (Пионерская), Лянчихе (Богатая), Грязной, в малом водотоке на улице Луговая г. Владивостока [3]. Позднее Л.А. Кухаренко были обследованы истоки и устья водотоков в пригородной зоне г. Владивостока (реки Черная, Большая и Малая Пионерская). Автор отмечает невысокое видовое богатство речных альгофлор (от 10 до 50 видов) и соответствие их вод II и III классам чистоты [4].

В монографической работе Л.А. Кухаренко приведены результаты исследования некоторых водотоков и водоемов г. Владивостока: оз. Чан, прудов Минного городка, р. Объяснения. Список видового состава фитопланктона прудов Минного городка незначителен и представлен восемью видами из отделов Cyanophyta (2 вида), Dinophyta (1 вид) и Chlorophyta (5 видов); для альгофлоры р. Объяснения указаны 10 видов из отделов Cyanophyta (8 видов) и Chlorophyta (2 вида) [4].

М.В. Черепановой и Т.В. Никулиной изучены диатомовые водоросли устьевой зоны р. Песчанки (бухта Угловая). Описанная диатомовая флора представлена 194 таксонами, а анализ качества вод по методу Пантле – Бук (в модификации В. Сладечека) показал соответствие вод III и IV классам качества воды [5].

Сведения о диатомовой флоре р. Вторая Речка были изложены в работах В.А. Медведь и М.В. Черепановой [6, 7]. В результате последующих исследований Т.В. Никулиной с соавторами были дополнены данные о составе флоры цианобактерий и водорослей р. Вторая Речка; было выявлено, что альгофлора реки представлена 88 видами (92 таксонами внутривидового ранга, учитывая номенклатурный тип вида) из отделов Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Rhodophyta и Euglenozoa. Установлено, что воды реки относятся ко II и III классам чистоты вод (метод Пантле – Бук в модификации Сладечека) [8].

Первое описание перифитонных альгосообществ в нижнем течении безымянного ручья после выхода с полигона твердых бытовых отходов (ТБО) (г. Владивосток) было изложено в двух кратких научных работах [9, 10].

Как видно из вышеизложенного, данные о видовом богатстве альгофлоры большинства водотоков Владивостокского городского округа полностью отсутствуют или требуют более детального обследования и уточнения.

Настоящая работа является продолжением исследований альгофлоры водотоков г. Владивостока; ее цель – изучение видового богатства цианобактерий и водорослей устьевого участка безымянного ручья, впадающего в Уссурийский залив, выявление комплексов доминирующих видов в альгосообществах и описание эколого-географической характеристики выявленной альгофлоры.

Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования послужили сборы водорослей перифитона в нижнем течении безымянного ручья, протекающего по территории ТБО г. Владивостока.

Безымянный ручей начинает свой путь на склоне сопки Варгина, в верхнем течении протекает через лесной массив, в среднем течении – по территории полигона твердых бытовых отходов (г. Владивосток, ул. Холмистая, 1), а впадает в безымянную бухту Уссурийского залива, южнее излюбленного места отдыха горожан – бухты Стеклоплавильной.

Владивостокский полигон ТБО был открыт в 1967 г.; являлся основным местом скопления городского мусора. Решение о его закрытии на рекультивацию принято Администрацией города в 2010 г., в рамках подготовки к саммиту АТЭС 2012 г. Для хранения мусорных отходов в 2011 г. организован новый полигон в границах комплекса по сортировке и переработке ТБО площадью около 2 га (ул. Холмистая, 1).

Безымянный ручей, протекающий по территории полигона ТБО, находится в сфере высокого уровня антропогенного импакта; его воды после выхода с территории полигона имеют измененные органолептические свойства и цветность – приобретают резкий химический запах и интенсивный красно-коричневый цвет.

На всей протяженности обследованного участка ручья грунт гравийно-галечный в сочетании с мелкими, средними и изредка крупными камнями, на подложке из черного песка. Ширина русла водотока изменяется от 1,2 до 3,0 м; вода слабо прозрачная, светло-коричневого цвета, имеет резкий химический запах; температура воды варьируется от 7,0–8,1 °С (в осенний период) до 15,0–19,3 °С (в весенний и летний периоды); водородный показатель (рН) – 8–8,5.

Сборы альгологического материала проводили в нижнем течении ручья (устье и предустьевая зона), расположенном в 5 км ниже полигона ТБО. На участке водотока протяженностью около 50 м, ограниченном водопропускной трубой автомобильной дороги и морем, было установлено четыре точки отбора проб: 1-я – выход ручья из водопропускной трубы; 2-я – 20 м от трубы; 3-я – 30 м от трубы; 4-я – 39 м от трубы (или ≈10 м от моря).

Альгологические пробы отобраны в весенний, летний и осенний периоды 2021–2022 гг., а именно: 25.05.2021 г., 12.11.2021 г., 31.08.2022 г. и 09.11.2022 г. Водоросли перифитона отбирали, обрабатывали, фиксировали и идентифицировали согласно общепринятым методикам [11, 12]. Для определения видовой принадлежности цианобактерий и водорослей использованы определители, систематические сводки [13–18 и др.] и общепризнанная мировая база альгологических данных AlgaeBase [19]. Список цианобактерий и водорослей составлен согласно системе, предложенной на мировом альгологическом сайте AlgaeBase, и Каталогу, принятому нами, пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России [19, 25]. Внутри отделов роды и виды водорослей расположены в алфавитном порядке.

Идентификация материала проводилась с помощью световых микроскопов «Alphaphot-2 YS-2» (Nikon), «Axioskop 40» (Carl Zeiss Jena) и электронных микроскопов EVO 40 (Carl Zeiss Jena) и Merlin (Carl Zeiss Jena) в Центре коллективного пользования «Биология и генетическая инженерия» ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

Для каждого вида отмечалась частота встречаемости по шестибалльной шкале: 1 – единично; 2 – редко; 3 – нередко; 4 – часто; 5 – очень часто; 6 – масса [20]. К разряду доминантов отнесены таксоны, имеющие частоту встречаемости 6, а к субдоминантам – таксоны, имеющие частоту встречаемости 5. Все водоросли с частотой встречаемости от 1 до 4 классифицированы как второстепенные виды.

При составлении эколого-географической характеристики диатомовой флоры использованы литературные данные об экологии и распространении водорослей [21–24].

Результаты и обсуждение

Таксономический состав альгофлоры нижнего участка безымянного ручья представлен 82 видами (85 таксонами внутривидового ранга, учитывая номенклатурный тип вида) цианобактерий и водорослей из 5 отделов (Cyanobacteria, Heterokontophyta, Euglenozoa, Bacillariophyta, Chlorophyta), 8 классов, 19 порядков, 29 семейств и 42 родов (табл. 15.1, 15.2).

Таблица 15.1

**Таксономический состав перифитонных альгосообществ устьевого участка
безымянного ручья (2021–2022)**

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Вид, разновидность и форма
Cyanobacteria	1	2	3	3	4	4
Heterokontophyta	1	1	1	1	1	1
Euglenozoa	1	1	1	1	1	1
Bacillariophyta	3	12	21	33	70	73
Chlorophyta	2	3	3	4	6	6
Bcero	8	19	29	42	82	85

Основу изученной альгофлоры формируют диатомовые водоросли (отдел Bacillariophyta), на долю которых приходится 85,9% от общего видового состава. В систематической структуре флоры выявлены следующие ведущие крупные таксоны, содержащие наибольшее количество видов, разновидностей и форм: класс Bacillariophyceae – 55; семейства Fragilariaceae и Bacillariaceae – по 11; роды *Nitzschia* – 10, *Pinnularia* и *Gomphonema* – по 5 (см. табл. 15.2).

Таблица 15.2

Видовой состав перифитонных альгосообществ в нижнем течении безымянного ручья (2021–2022)

[illegible]

Продолжение табл. 15.2

[illegible]

Продолжение табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сап- робная харак- тери- стика	Мес- то- оби- тание	Га- лоб- ность	Отно- ше- ние к рН	Гео- графи- ческое распро- стра- нение
		1	2	3	4					
	Семейство Stephanodiscaceae									
7	<i>Cyclotella me- neghiniana</i> Kützing	1	–	–	–	–	В-Р	hl	alf	К
	Порядок Aulacosei- rales									
	Семейство Aulaco- seiraceae									
8	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	–	1	1	–	α - β	Р	i	alf	k
9	<i>A. granulata</i> (Ehren- berg) Simonsen	–	–	1	–	β - α	В-Р	i	i	k
10	<i>A. subarctica</i> (O. Müller) Haworth	1	–	–	1	α - β	Р	i	alb	k
	Порядок Melosirales									
	Семейство Melosi- raceae									
11	<i>Melosira varians</i> C. Agardh	1	–	–	–	α - β	В-Р	hl	alf	k
	Класс Fragilario- phyceae									
	Порядок Fragilariales									
	Семейство Fragilari- aceae									
12	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	1	–	–	–	o	Р	i	alf	k
13	<i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner	1	–	–	–	β	В-Р	hb	alf	k
14	<i>D. mesodon</i> (Ehren- berg) Kützing	1	–	1	1	o- β	В	hb	–	k
15	<i>D. vulgare</i> Bory	1	1	2	1–2	β - α	В-Р	i	i	k
16	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières var. <i>Rumpens</i> (Kützing) Lange-Bertalot ex Bukhtiyarova	1	–	1	–	o	В	i	alf	k
17	<i>F. capucina</i> var. <i>Vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	1	–	–	–	o	–	–	–	–

Продолжение табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сап- робная харак- терис- тика	Мес- то- оби- тание	Га- лоб- ность	Отно- ше- ние к рН	Гео- графи- ческое распро- стране- ние
		1	2	3	4					
18	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) Patrick var. <i>rectus</i> (Cleve) M. Idei	–	–	1	1	o	–	–	–	–
19	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh var. <i>circulare</i>	–	1	–	1	o-β	В	hb	alf	k
20	<i>M. circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck	1	–	1	1	χ	В-Р	hb	alf	k
21	<i>Ulnaria danica</i> (Kütz- ing) Compère et Buk- htiyarova	1	1	–	–	–	–	–	–	–
22	<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	1	–	1	1	o-α	В-Р	i	alf	k
	Порядок Tabellariales Round									
	Семейство Tabellariaceae Kütz- ing									
23	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz- ing	1	–	1	–	o-α	В-Р	hb	acf	a-a
24	<i>T. fenestrata</i> (Lyng- bye) Kütz- ing	–	–	1	1	χ	В-Р	hb	acf	k
	Класс Bacillariophyceae									
	Порядок Achnan- thales									
	Семейство Achnan- thidiaceae									
25	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz- ing) Czarnecki	1	1	1–2	1	o-β	В	i	i	k
26	<i>Planorhynchium lanceo- latum</i> (Brébisson ex Kütz- ing) Lange- Bertalot	1	1	1–2	1	β-α	В	i	alf	k
	Семейство Cocco- neidaceae									
27	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>Placentula</i>	–	–	1	1	o-β	В	i	alf	k

Продолжение табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сап- робная харак- тери- стика	Мес- то- оби- тание	Га- лоб- ность	Отно- ше- ние к рН	Гео- графи- ческое распро- стране- ние
		1	2	3	4					
28	<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	1	–	1	1	–	В-Р	i	alf	k
	Порядок Eunotiales									
	Семейство Eunotiaceae									
29	<i>Eunotia exigua</i> (Brü- bisson ex Kützing) Rabenhorst	–	–	–	1	о-β	В	hb	acf	k
30	<i>E. pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst	–	–	–	1	χ-β	В	hb	acf	k
31	<i>E. praeurpta</i> Ehren- berg	1	–	–	–	–	В	hb	acf	k
	Порядок Cymbel- lales									
	Семейство Cymbel- laceae									
32	<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirch- ner	–	–	–	1	о-β	В	i	alf	k
33	<i>C. tumida</i> (Brebis- son) Van Heurck	1	–	–	–	χ	В	i	alf	k
34	<i>C. turgidula</i> Grunow	1	–	–	1	–	В	–	i	k
35	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Raben- horst) Mann	1	1–2	1	1	о-β	В	i	i	k
36	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) Mann	1	1	1	1	χ-о	В	i	i	k
	Семейство Gom- phonemataceae									
37	<i>Gomphonema acu- minatum</i> Ehrenberg	1	–	–	–	χ-β	В-Р	i	alf	k
38	<i>G. angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1–3	1	1–3	1	о	В-Р	i	alf	k
39	<i>G. brebissonii</i> Kütz- ing	–	–	1	–	χ-β	В-Р	i	alf	k
40	<i>G. parvulum</i> (Kütz- ing) Kützing	1	1	1	1	χ	В	i	alf	b

Продолжение табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сапро- робная харак- тери- стика	Мес- то- оби- тание	Га- лоб- ность	Отно- ше- ние к рН	Гео- графи- ческое распро- стране- ние
		1	2	3	4					
41	<i>G. sarcophagus</i> Gre- gory	2–6	1–6	1–6	1–2	β	В	i	alf	k
42	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek et Stoermer	1	1	1	1	–	В	i	i	k
	Семейство Rhoico- spheniaceae									
43	<i>Rhoicosphenia ab- breviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	1–3	1	1	1–2	χ-o	В-Р	i	alf	k
	Порядок Navicu- lales									
	Семейство Diades- midaceae									
44	<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	–	–	–	1	χ	В	i	alf	k
45	<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann	–	1	1	–	o	В	i	i	a-a
	Семейство Navicu- laceae									
46	<i>Navicula gregaria</i> Ehrenberg	1	–	1	1	–	В	mh	alf	k
47	<i>N. lanceolata</i> Ehren- berg	1–3	1	1	1	χ-β-α-ρ	В	i	alf	k
48	<i>N. tripunctata</i> (O. Müller) Bory	–	–	–	1	β	В	i	i	k
49	<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-- Bertalot	1	3	2	–	–	В	i	–	k
	Семейство Pinnu- lariaceae									
50	<i>Pinnularia</i> aff. <i>Bi- ceps</i> Gregory	1	–	1	–	β-o	В	i	acf	k
51	<i>P. borealis</i> Ehrenberg	1	–	–	1	o-β	В	i	i	k
52	<i>P. saprophila</i> Lan- ge-Bertalot, Kobaya- si, Krammer	1	–	1	1	–	–	–	–	–
53	<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	–	–	–	–	o-χ	В-Р	i	i	k

Продолжение табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сапро- робная харак- тери- стика	Мес- то- оби- тание	Га- лоб- ность	Отно- ше- ние к рН	Гео- графи- ческое распро- стра- нение
		1	2	3	4					
54	<i>Pinnularia</i> sp.	1	–	–	–	–	–	–	–	–
	Семейство Dip- loneidaceae									
55	<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve	–	–	–	1	о-α	В	i	alf	k
56	<i>D. smithii</i> (Brébis- son) Cleve	–	–	–	1	–	В	mh	alf	k
	Семейство Stauro- neidaceae Mann									
57	* <i>Craticula accom- moda</i> (Hustedt) D.G. Mann	1–2	3–4	1–5	1–3	о-α	Р	i	–	k
58	<i>C. subminuscula</i> (Manguin) C.E.Wetzel, Ector	1	–	2	2	α-β	–	–	–	
59	<i>Stauroneis phoenix- centeron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	–	–	–	1	χ-о	В	i	i	k
	Семейство Brachysiraceae									
60	<i>Brachysira vitrea</i> (Grunow) Ross	1	–	–	–	о-χ	В	i	i	k
	Семейство Sellaph- oraceae									
61	<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel et Ector	1–2	1–6	1–6	1–6	–	–	–	–	–
62	<i>S. obesa</i> Mann and Bayer	1	–	–	1	–	–	–	–	–
63	<i>S. pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky	–	–	1	–	о-χ	В	hl	i	k
64	<i>S. saeugeresii</i> Wetzel et Mann	1	1	1	1	–	–	–	–	–
	Порядок Thalassio- physales									
	Семейство Catenulaceae									
65	<i>Amphora normanii</i> Rabenhorst	–	–	1	–	β-α	В	hb	alf	b

Окончание табл. 15.2

№ п/п	Вид	Станция				Сапробная характеристика	Местообитание	Габ-ность	Отношение к рН	Географическое распространение
		1	2	3	4					
80	<i>Desmodesmus maximus</i> (W. West et G.S. West) Hegewald [= <i>Scenedesmus microspina</i> ?]	1	—	—	—	β	Р	i	i	k
81	<i>Scenedesmus acutiformis</i> Schröder	1	—	—	—	β	В-Р	—	—	k
82	<i>S. ellipticus</i> Corda	1	—	—	—	—	В-Р	—	—	k
83	<i>S. obtusus</i> Meyen	1	—	—	—	β	В-Р	—	—	a-a
	Порядок Chlamydomonadales									
	Семейство Chlorococcaceae									
84	<i>Chlorococcum</i> aff. <i>infusum</i> (Schränk) Meneghini	—	6	3–6	6	β	Р	—	—	k
	Класс Ulvophyceae									
	Порядок Ulotrichales									
	Семейство Ulotrichaceae									
85	<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kützinger) Kützinger	—	1	—	—	o-α	В	i	—	k

Примечание. Частота встречаемости организмов указана по шестибальной шкале: 1 – единично; 2 – редко; 3 – нередко; 4 – часто; 5 – очень часто; 6 – масса (Кордэ, 1956). «—» – нет данных. Сапробная характеристика: χ – ксеносапробионт; χ-о – ксено-олигосапробионт; о-χ – олиго-ксеносапробионт; χ-β – ксено-бетамезосапробионт; о – олигосапробионт; о-β – олиго-бетамезосапробионт; β-о – бета-олигосапробионт; о-α – олиго-альфамезосапробионт; β – бетамезосапробионт; β-α – бета-альфамезосапробионт; α-β – альфа-бетамезосапробионт; ρ-α – поли-альфамезосапробионт; ρ – полисапробионт; ι – изосапробионт. «*» – вид впервые указывается для Дальнего Востока России.

В перифитонных сообществах на всей протяженности обследованного участка ручья в весенний и осенний периоды 2021 г. было идентифицировано значительное число цианобактерий и водорослей: в мае – 51 вид, разновидность и форма из отделов Cyanobacteria, Heterokontophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta; в ноябре – 54 внутривидовых таксона из отделов Cyanobacteria, Bacillariophyta и Chlorophyta. В весенний период комплекс преобладающих видов на самом удаленном участке от моря представлен доминантами *Phormidium uncinatum*, *Nitzschia umbonata*, *Gomphonema sarcophagus* и субдоминантом *Nitzschia palea*, в центральной части – доминантами *N. umbonata* и *G. sarcophagus* в сочетании с субдоминантами *N. palea* и *Craticula accotoda*, в перифитоне устья ручья в роли доминанта сохранился единственный вид *N. umbonata*. В осенний период значе-

ние частоты встречаемости зарегистрированных видов не превышало оценку 3 (редко); ярко выраженные доминанты отсутствовали.

Летом и осенью 2022 г. видовое богатство альгосообществ ручья значительно уменьшилось; в августе зарегистрировано 7 видов и разновидностей цианобактерий, диатомовых и зеленых водорослей, а в ноябре – 14 внутривидовых таксонов цианобактерий, диатомовых, эвгленовых и зеленых водорослей. В августе на всех точках отбора проб доминировал *N. umbonata* и вид, идентифицированный авторами как *Chlorococcum aff. infusionum*. В осенний период 2022 г. виды *Ph. uncinatum* и *N. umbonata* оставались основными доминантами на всей протяженности водотока от водопропускной трубы до устья; у вида *Sellaphora nigri* частота встречаемости достигала максимального значения 6 (масса) на трех нижних точках. Можно предположить, что *Ph. uncinatum* и *N. umbonata* являются наиболее адаптированными и устойчивыми к неблагоприятным условиям представителями альгофлоры; эти виды массово вегетировали в течение всего периода обследования и на всей протяженности ручья.

В перифитоне безымянного водотока выявлен вид *Craticula accomoda*, который впервые указывается для российского Дальнего Востока.

На основании экологических характеристик (сапробность, отношение к солености, активной реакции среды) идентифицированных видов цианобактерий и водорослей проведен эколого-географический анализ выявленной альгофлоры безымянного ручья. Сведения об отнесенности водорослей к местообитанию известны для 72,9% от общего числа внутривидовых таксонов, из них на долю бентосных приходится 48,2% и бентосно-планктонных – 27,1%. Индифферентными к изменению солености являются 52,9% от общего числа таксонов. По отношению к pH среды преобладают алкалифильные виды (36,5%) и индифферентные к изменениям активной реакции среды (23,5%). Характер географического распространения: на долю космополитных видов приходится 75,3%, бореальных и аркто-альпийских – по 3,5% (табл. 15.3).

Таблица 15.3

Распределение водорослей по экологическим группам

Экологическая группа	Кол-во таксонов	Соотношение, %	Экологическая группа	Кол-во таксонов	Соотношение, %
Местообитание			Отношение к pH		
Бентосные	41	48,2	Алкалибионты	1	1,2
Планктонные	7	8,2	Алкалифилы	31	36,5
Бентосно-планктонные	23	27,1	Индифференты	20	23,5
Эпифитные	–	–	Ацидобионты	–	0,00
Бентосно-эпифитные	–	–	Ацидофилы	6	7,1
Нет данных	14	16,5	Нет данных	27	31,7
Всего	85	100	Всего	85	100
Галобность			Географическое распространение		
Мезогалобы	3	3,5	Космополиты	64	75,3
Галофилы	4	4,7	Бореальные	3	3,5

Окончание табл. 15.3

Экологическая группа	Кол-во таксонов	Соотношение, %	Экологическая группа	Кол-во таксонов	Соотношение, %
Индифференты	45	52,9	Аркто-альпийские	3	3,5
Галофобы	10	11,8	Нет данных	15	17,7
Нет данных	23	27,1	Всего	85	100
Всего	85	100			

Показателями степени сапробности воды являются 79 видов и разновидностей цианобактерий и водорослей перифитона, что составляет 75,3% от общего числа таксонов. Наиболее значительными являются две группы – олигосапробионты (25,9%) и бетамезосапробионты (29,4%). Менее многочисленны группы ксеносапробионтов, альфамезосапробионтов, на долю которых приходится 9,4 и 10,6% (табл. 15.4).

Таблица 15.4

Соотношение индикаторных видов водорослей по степени сапробности

Сапробиологическая группа	Степень сапробности видов-индикаторов	Кол-во таксонов		От общего числа таксонов, %
Ксеносапробионты (S = 0–0,50)	χ	6	9	10,6
	χ -o	3		
Олигосапробионты (S = 0,51–1,50)	o- χ	3	22	25,9
	χ - β	3		
	o	8		
	o- β	8		
Бетамезосапробионты (S = 1,51–2,50)	β -o	3	25	29,4
	o- α	6		
	β	11		
	β - α	5		
Альфамезосапробионты (S = 2,51–3,50)	α - β	7	8	9,4
	β - ρ	0		
	α	0		
	α - ρ	1		
Полисапробионты (S = 3,51–4,50)	ρ - α	0	0	0
	ρ	0		
Нет данных		21	21	24,7
Всего		85	85	100

При камеральной обработке альгологического материала было выявлено значительное число поврежденных створок диатомей, наличие высокого процента пустых, безжизненных клеток. Исследование диатомовых водорослей с использованием сканирующего электронного микроскопа позволило получить

данные о нарушении и повреждении ультраскульптуры створок. Например, у вида *Craticula accomoda* было отмечено ярко выраженное нарушение продольной симметрии, со смещением центрального шва от центра к краю створки и нарушение параллельности штриховки (рис. 15.1а). У *Gomphonema sarcophagus* выявлена деформация правого края створки и нарушение очередности и параллельности штрихов (рис. 15.1б), в верхней части створки *Nitzschia sp.* и срединной части *Nitzschia umbonata* зарегистрированы нарушения параллельности и последовательности штрихов (рис. 15.1в, г). Очевидно, изменение формы клеток и скульптуры диатомовых водорослей свидетельствует о глубоких нарушениях, происходящих в развитии водорослей, вызванных воздействием загрязнений, поступающих с территории полигона ТБО в воды природного водотока.

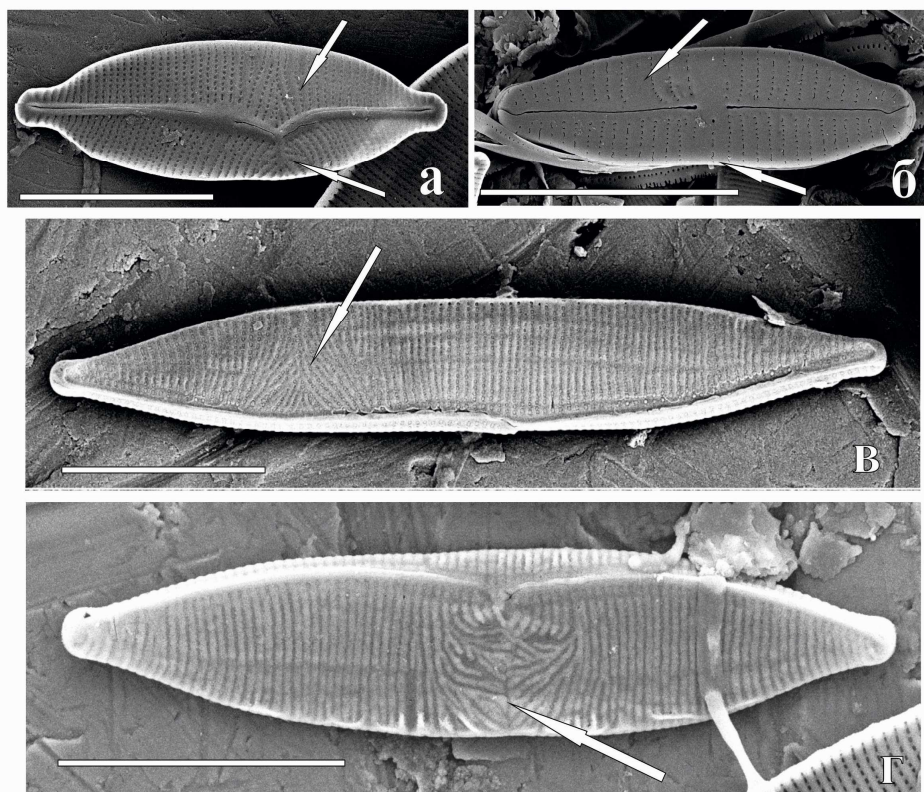


Рис. 15.1. Примеры деформации створок диатомовых водорослей (СЭМ; линейка 10 мкм; стрелками указаны участки клеток диатомей с нарушенной скульптурой и деформацией створки):
 а – *Craticula accomoda* (Hustedt) D.G.Mann; б – *Gomphonema sarcophagus* Gregory;
 в – *Nitzschia sp.*; г – *Nitzschia umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot

Таким образом, получены данные о составе флоры цианобактерий и водорослей безымянного ручья, которая представлена 82 видами (85 таксонами внутривидового ранга, учитывая номенклатурный тип вида) из отделов Cyanobacteria, Heterokontophyta, Euglenozoa, Bacillariophyta, Chlorophyta. К числу доминантов и субдоминантов отнесены *Phormidium uncinatum*, *Chlorococcum* aff. *infusum*, *Nitzschia umbonata*, *Gomphonema sarcophagus*, *Sellaphora nigri*, *Nitzschia palea* и *Craticula accomoda*. Впервые для альгофлоры российского

Дальнего Востока указан вид диатомовых водорослей *Craticula accomoda* (Hustedt) Mann.

При проведении эколого-географического анализа выявлено, что в альгофлоре преобладают бентосные, индифферентные к солености, алкалифильные, индифферентные к изменениям активной реакции и космополитные цианобактерии и водоросли. Показателями степени сапробности воды являются 75,3% от общего числа выявленных таксонов; из них наиболее значительными являются две группы – олигосапробионты и бетамезосапробионты.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000147-6). Авторы выражают искреннюю благодарность В.М. Казарину (ФНИЦ Биоразнообразия ДВО РАН) за помощь при работе на сканирующих электронных микроскопах.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Иванов, В.Е. Микрофлора вод окрестностей г. Владивостока / В.Е. Иванов // Зап. Владивост. отд. гос. русс. геогр. об-ва. – 1929. – Т. 3 (20), № 2. – С. 321–339.
2. Skvortzow, B.V. Diatoms from a peat bog in Lianchiho river valley, Eastern Siberia. / B.V. Skvortzow // Philippine Journal of Science. – 1938. – Vol. 66 (2). – P. 161–182.
3. Проценко, А.Е. Новый вид водорослей водоемов Дальневосточного края / А.Е. Проценко // Вестн. ДВФ СО АН СССР. – 1939. – Т. 33 (1). – С. 204–205.
4. Кухаренко, Л.А. Водоросли пресных водоемов Приморского края / Л.А. Кухаренко. – Владивосток: ДВО РАН СССР, 1989. – С. 152.
5. Cherepanova, M.V. Diatom algae of the Peschanka mouth zone (Uglovoy Bay) / M.V. Cherepanova, T.V. Nikulina // Intern. conference on the sustainability of coastal ecosystem in the Russian Far East: abstr. of the conf. – Vladivostok, Russia. – 1996. – P. 17–18.
6. Медведь, В.А. Экологический мониторинг сообществ диатомовых водорослей – индикаторов органического загрязнения воды (на примере водоемов городов Южного Приморья) / В.А. Медведь, М.В. Черепанова // Проблемы экологии и рационального природопользования Дальнего Востока: материалы Региональной конф. молодых ученых. – 2004. – С. 124–127.
7. Cherepanova, M.V. Diatoms as indicators of organic pollution of the ponds and rivers in the Vladivostok urbanized zone / M.V. Cherepanova, V.A. Medved // Abstracts of IV International Congress “Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology”. – Isparta, Turkey. – 2004. – P. 37–38.
8. Никулина, Т.В. Оценка состояния вод р. Вторая Речка по данным анализа перифитонных диатомовых сообществ (Владивосток, Приморский край) / Т.В. Никулина, Т.С. Вшивкова, Д.С. Чебан, В.П. Невельская // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Вып. 9. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – С. 118–128.
9. Невельская, В.П. Описание перифитонных альгосообществ в нижнем течении безымянного ручья, после выхода с полигона ТБО (г. Владивосток) / В.П. Невельская, Д.С. Чебан, Т.В. Никулина // Сборник тезисов XIX

Международной молодежной экологической конференции «Человек и биосфера». – Владивосток: ВГУЭС, 2022. – С. 67.

10. Nikulina, T.V. Species richness of cyanobacteria and algae in watercourses subjected to high anthropogenic impact and located on the territory of Vladivostok City and its suburb / T.V. Nikulina, V.P. Nevelskaya, D.S. Cheban // The 3rd International Conference on Northeast Asia Biodiversity. – Vladivostok, Russia, 2022.

11. Swift, E. Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide / E. Swift // *Phycologia*. – 1967. – Vol. 6, no. 2/3. – P. 161–163.

12. Вассер, С.П. Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1989. – 608 с.

13. Krammer, K. Bacillariophyceae: Naviculaceae / K. Krammer, H. Lange-Bertalot // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/1. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. – 860 p.

14. Krammer, K. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // K. Krammer, H. Lange-Bertalot // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/2. – Stuttgart; New York: Gustav Fischer Verlag, 1988. – 596 p.

15. Krammer, K. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // K. Krammer, H. Lange-Bertalot // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/3. – Stuttgart; Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991. – 576 p.

16. Krammer, K. Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis // K. Krammer, H. Lange-Bertalot; *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/4. – Stuttgart; Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991. – 437 p.

17. Hartley, B. An atlas of British diatoms / B. Hartley, H.G. Barber, J.R. Carter. – England: Biopress Ltd, 1996. – 601 p.

18. Lange-Bertalot, H. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu stricto, Frustulia / H. Lange-Bertalot // *Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats*. Vol. 1. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2001. – Vol. 2. – 526 p.

19. Guiry, M.D. AlgaeBase / Guiry M.D., Guiry G.M. // World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. – <http://www.algaebase.org>

20. Кордэ, Н.В. Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) / Н.В. Кордэ // *Жизнь пресных вод СССР*. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 4, ч. 1. – С. 383–413.

21. Sládeček, V. Diatoms as indicators of organic pollution / V. Sládeček // *Hydrochim. hydrobiol.* – 1986. – Vol. 14, no. 5. – P. 555–566.

22. Van Dam, H. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands / H. Van Dam, A. Mertens, J. Sinkeldam // *Netherlands J. Aquat. Ecol.* – 1994. – Vol. 1, no. 28. – P. 117–133.

Bukhtiyarova, L.N. Diatoms of Ukraine. Inland waters / L.N. Bukhtiyarova. – Kyiv, 1999. – 133 p.

23. Баринова, С.С. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. / С.С. Баринова, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. – Тель-Авив: Русское издательство Piles Studio, 2006. – 498 с.

24. Медведева, Л.А. Каталог пресноводных водорослей южной части Дальнего Востока. / Л.А. Медведева, Т.В. Никулина. – Владивосток: Дальнаука. – 2014. – 271 с.

Информация об авторах

Никulina Татьяна Владимировна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории пресноводной гидробиологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН). E-mail: nikulinatv@mail.ru

Невельская Валерия Петровна, магистрант, кафедра экологии, биологии и географии, Владивостокский государственный университет (ВВГУ). E-mail: lerok125rus@mail.ru

Чебан Диана Сергеевна, магистрант, кафедра экологии, биологии и географии, Владивостокский государственный университет (ВВГУ). E-mail: cheband@bk.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 15. DESCRIPTION OF PERIPHYTON ALGAL COMMUNITIES OF THE MOUTH OF STREAM FLOWING THROUGH SOLID DOMESTIC WASTE LANDFILL TERRITORY (VLADIVOSTOK) TAIMEN

Tatyana V. Nikulina¹, Valeriya P. Nevelskaya², Diana S. Cheban²

Abstract. Data on the composition of the algal flora of the mouth part stream flowing through the territory of the municipal solid waste landfill were obtained. The flora of algae and cyanobacteria is represented by 82 species (85 taxa of intraspecific rank) from the divisions: Cyanobacteria, Heterokontophyta, Euglenozoa, Bacillariophyta, Chlorophyta. Seven species are classified as dominants and subdominants: *Phormidium uncinatum*, *Chlorococcum* aff. *infusum*, *Nitzschia umbonata*, *Gomphonema sarcophagus*, *Sellaphora nigri*, *Nitzschia palea*, and *Craticula accomoda*. The diatom species *Craticula accomoda* (Hustedt) Mann is newly recorded for the Russian Far East. An ecology-geographical analysis was carried out and it was found that benthic, indifferent to salinity, alkaliphilic, indifferent to pH and cosmopolitan cyanobacteria and algae prevail in the algal flora. Seventy-nine species and varieties of algae (75,3%) are indicators of the degree of water saprobity, the most represented are oligo- and betamezosaprobionts.

Keywords: south part of the Far East; urban watercourse; algal flora; periphyton communities; diatoms.

Information about authors

Tatyana V. Nikulina, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Freshwater Hydrobiology, Federal Scientific Center on the East Asia Terrestrial Biodiversity of FEB RAS (FSC EATB FEB RAS). E-mail: nikulinatv@mail.ru

Valeriya P. Nevelskaya, Master's student, Department of Ecology, Biology and Geography, Vladivostok State University (VVSU). E-mail: lerok125rus@mail.ru

Diana S. Cheban, Master's student, Department of Ecology, Biology and Geography, Vladivostok State University (VVSU). E-mail: cheband@bk.ru

¹ Vladivostok State University, Gogolya st., 41, Vladivostok, 690014, Russia.

² Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

Глава 16. МОНИТОРИНГ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГИДРОБИОНТАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

Н.И. Стеблевская¹, Н.В. Полякова¹, Е.А. Жадько², С.В. Чусовитина²

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-156-171>

Аннотация. Изучено содержание микроэлементов в органах и тканях промысловых и культивируемых гидробионтов залива Петра Великого (Японское море). Определены особенности распределения и накопления микроэлементов органами и тканями гидробионтов. Показано влияние видовых различий и условий обитания на накопление и распределение нормируемых токсичных элементов (Pb, As, Cd и Hg) в тканях и органах моллюсков и рыб.

Ключевые слова: микроэлементы; гидробионты; залив Петра Великого; рентгенофлуоресцентный метод.

Современное состояние прибрежных морских акваторий Дальнего Востока, особенно Японского моря, определяется значительным антропогенным и техногенным воздействием, что приводит к нарушению природного фона многих элементов в водной среде и морских организмах. Известно, что заливы, являющиеся зонами смешения пресных и морских вод, рассматриваются как геохимические барьеры, на которых происходит осаждение многих растворенных и взвешенных в речной воде веществ [1].

Результаты исследований элементного состава морских гидробионтов получают как на организмах как океанической пелагиали, так и на обитающих в прибрежных акваториях и эстуариях рек. Причем именно в последнем случае колебания концентраций элементов, в том числе и токсичных, в результате антропогенного воздействия значительно варьируют и непостоянны в компонентах среды по сравнению с океаническими водами. Поэтому количественная оценка содержания элементов в морских организмах в сравнительном аспекте важна как для практических целей, так и для решения фундаментальной проблемы – выяснения причин, определяющих микроэлементный состав.

К основным параметрам, влияющим на формирование элементного состава, относят как физиологические видовые характеристики гидробионтов, так и биологическую значимость и функции элементов в их организмах. Химические элементы по-разному ведут себя в процессах миграции: одни обнаруживают тенденцию к уменьшению, другие – к накоплению в гидробионтах разных видов [2]. Сведения о содержании и распределении элементов в органах и тканях водных организмов, в частности рыб и моллюсков, интересны как для понимания закономерностей аккумуляции и переноса элементов в водной среде, так и с точки зрения их функциональной роли в процессе жизнедеятельности гидробионтов [2, 3].

¹ Институт химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет «Дальрыбвтуз», 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52б.

Залив Петра Великого уникален по своим географическим особенностям, биологическому разнообразию и богатству ресурсов. Сочетание рыбного промысла, с одной стороны, и разнообразной хозяйственной деятельности – с другой, а также особенности природных условий вызывают интерес к состоянию экосистем залива Петра Великого и выявлению механизмов поддержания их нормального функционирования. При анализе экологической ситуации в прибрежных водах залива Петра Великого наряду с грунтами для оценок качества водной среды используют водные организмы (рыбы) и организмы-индикаторы (иглокожие, двустворчатые моллюски, водоросли).

Исследование элементного состава рыб и моллюсков залива Петра Великого проводится уже довольно значительное время, но не теряет своей актуальности в связи с постоянно меняющейся антропогенной нагрузкой на прибрежные промысловые водоемы и увеличением спроса на морепродукты. Как выяснено [4], уровни содержания металлов в моллюсках из районов, подверженных наибольшему антропогенному влиянию (бухта Славянка), достоверно превышали в 2002–2004 гг. концентрации элементов в моллюсках из относительно чистых районов (о. Рейнеке).

Благодаря концентрационной функции моллюски и макрофиты способны аккумулировать микроэлементы в 10^3 – 10^5 раз больше, чем их содержится в водной среде. Поэтому токсичные элементы накапливаются в тканях таких морских организмов, что сказывается на формировании их микроэлементного состава и приводит к ухудшению качества биоресурсов. Рыбы, являясь важным компонентом морских экосистем, играют ключевую роль в трофической структуре водоемов. Добыча промысловых рыб – по-прежнему один из основных источников ценного белкового сырья для человека. Поэтому оценка качества рыбного сырья, с точки зрения содержания токсичных металлов в связи с загрязнением морской среды, актуальна. Согласно исследованиям [5] химические элементы по-разному ведут себя в процессах миграции по пищевым цепям: одни обнаруживают тенденцию к уменьшению, другие – к накоплению в гидробионтах более высоких трофических уровней. Эти различия в направленности и активности биологической миграции элементов определяются их физико-химическими свойствами, содержанием в окружающей среде и потребляемой пище. Качество же пищевых продуктов, получаемых из гидробионтов, предопределяет здоровье и продолжительность жизни человека.

Материалы и методы

Изучен элементный состав в тканях промысловых и культивируемых гидробионтов (мидия, гребешок, трепанг, камбала остроголовая, минтай, красноперка, навага тихоокеанская) залива Петра Великого (Японское море). Камбала остроголовая (*Cleisthenes herzensteini*), навага тихоокеанская (*Eleginus gracilis*), дальневосточная мелкочешуйная красноперка (*Tribolodon brandtii*) и минтай (*Gadus chalcogrammus*), мидия тихоокеанская (*Mytilus trossulus*) и гребешок приморский (*Mizuhopecten yessoensis*) были отобраны в летний сезон в бухте Северная залива Петра Великого. Кроме того, в качестве объекта исследования были выбраны также разновозрастные приморские гребешки (*Mizuhopecten yessoensis*) из марикультурного хозяйства бухты Северная.

Для изучения элементного состава использовали мышечную ткань, жабры, гонады и печень указанных рыб или ткани пищеварительной железы, мускулы и

жабры моллюсков. Пробоподготовку осуществляли в соответствии с рекомендациями [6]. Образцы помещали в тefлоновые автоклавы, добавляли смесь азотной и соляной кислот (1:2) и разлагали в микроволновом реакторе Milestone UltraClave (Италия) 60 мин при температуре 200 °С и давлении 6,2 МПа. Элементный анализ подготовленных растворов проб проводили рентгенофлуоресцентным методом с полным внешним отражением (РФА ПВО) на приборе TXRF8030C («FEI Com.», Германия). Пробу объемом 10 мкл наносили на подложку из полированного кварцевого стекла. Время измерения – 500 с, источник возбуждения – рентгеновская трубка с Mo/W-анодом. Внутренний стандарт – раствор иттрия в концентрации 50 мкг/мл. Предел обнаружения варьируется для различных элементов от 10^{-7} до 10^{-10} %.

Результаты и обсуждение

Как уже отмечалось выше, увеличивающийся в последнее время пресс антропогенного воздействия отражается не только на численности и биологии промысловых видов рыб, но и на качестве, безопасности рыбы, как сырья для пищевой промышленности. В качестве индикатора рассматривается стабильность элементного состава рыб. Наши исследования выявили определенные сходство и различия в распределении ряда элементов органами и тканями минтая, наваги, красноперки и камбалы, в том числе и в зависимости от вида рыбы. Результаты элементного анализа проб образцов печени, жаберной и мышечной тканей указанных рыб приведены в табл. 16.1 и 16.2.

Таблица 16.1

Средняя концентрация элементов в образцах минтая и наваги, мкг/г сырой массы

Элемент	Минтай					Навага		
	Печень	Мышечная ткань	Гонады	Кожа	Жабры	Печень	Мышечная ткань	Жабры
P	1102±110	1267±127	1179±118	771±115	4722±472	2070±207	1810±180	9540±954
S	816±122	1881±188	1740±174	952±143	1232±123	1800±180	2190±219	2970±297
K	1134±113	2184±215	974±146	1205±120	1143±114	1400±140	1690±169	2170±217
Ca	884±133	239±36	191±29	2173±217	13 319±352	220±33	260±39	16 600±180
Fe	50,75±10,12	26,73±5,35	22,70±4,54	87,57±17,51	88,27±17,65	40,60±8,12	6,75±1,69	153±23
Cu	4,95±1,24	0,67±0,17	2,03±0,51	1,29±0,32	2,36±0,59	3,02±0,75	0,55±0,14	3,40±0,85
Zn	22,45±4,49	5,25±1,31	29,20±5,84	14,61±2,92	26,10±5,22	23,89±4,77	9,08±2,27	48,10±9,62
As	7,28±1,95	11,07±2,21	25,72±5,14	5,26±1,32	1,45±0,36	3,46±0,86	3,08±0,77	–*
Se	0,95±0,24	0,35±0,09	1,34±0,33	1,31±0,33	1,35±0,34	1,26±0,31	0,51±0,13	2,07±0,52
Br	10,19±2,04	4,30±1,07	20,36±4,07	4,28±1,07	9,03±2,26	0,54±0,13	0,40±0,10	3,61±0,90
Rb	1,19±0,30	0,85±0,21	3,18±0,79	2,23±0,55	3,24±0,81	–	–	–
Sr	4,67±1,17	2,13±0,53	15,54±3,11	38,58±7,72	184±27	2,16±0,54	2,82±0,71	97,30±19,46
Mn	–	2,55±0,64	30,07±6,02	3,33±0,83	6,83±1,71	1,61±0,40	1,43±0,36	–
Ni	–	–	–	–	–	–	–	4,35±1,09
Ti	41,40±8,28	5,93±1,48	5,96±1,49	19,51±3,90	–	–	–	–
Zr	–	–	–	–	2,22±0,56	–	–	–

Примечание: «*» – не обнаружено.

Таблица 16.2

**Средняя концентрация элементов в образцах камбалы и красноперки,
мкг/г сырой массы**

Элемент	Камбала			Красноперка			
	Печень	Мышечная ткань	Жабры	Печень	Мышечная ткань	Гонада	Жабры
P	4170±417	2180±218	6590±659	840±126	919±138	1212±121	5895±590
S	2480±248	2330±233	1870±187	830±124	1349±135	805±121	1144±114
K	2090±209	2330±233	1140±114	1313±131	2002±200	1324±132	1224±122
Ca	74,67±9,49	82,10±16,42	7844±785	223±33	266±40	58,93±11,79	9690±969
Fe	223±33	9,01±2,25	95,87±19,17	215±32	7,30±1,82	48,23±9,65	105±16
Cu	7,39±1,85	0,60±0,15	1,53±0,38	4,94±1,23	0,76±0,19	1,40±0,35	1,23±0,31
Zn	33,75±6,75	7,46±1,86	35,58±7,17	31,67±6,33	10,38±2,08	47,47±9,49	29,28±5,85
As	3,54±0,88	3,43±0,86	—*	1,67±0,42	0,93±0,23	0,14±0,04	0,32±0,08
Se	2,33±0,58	0,59±0,15	—	1,37±0,34	0,47±0,12	1,85±0,46	0,89±0,22
Br	0,63±0,16	0,38±0,09	—	2,39±0,60	0,80±0,20	—	1,80±0,45
Sr	1,41±0,35	0,87±0,22	59,54±11,91	3,11±0,78	4,57±1,14	0,94±0,23	139±21
Mn	—	—	9,05±2,26	—	—	1,36±0,34	9,77±2,44

Примечание: «*» – не обнаружено.

Известно, что общее количество минеральных веществ в органах рыб изменяется от 0,6 % в печени и гонадах до 13,8 % – в голове, плавниках, позвоночнике [2, 9]. Количественно преобладают фосфор, кальций, калий, натрий, магний, сера и хлор, входящие в состав ряда важных органических соединений. Кальций – основная составляющая костной ткани. Натрий, калий, фосфор, магний, хлор входят в состав саркоплазмы мышечных клеток, межклеточной жидкости, плазмы крови; сера – составляющая белков. В значительно меньших количествах в организме гидробионтов содержатся железо, медь, марганец, кобальт, цинк, молибден, йод, бром, фтор и др. Соединения тяжелых металлов входят в состав ферментов, витаминов, гормонов; без их участия невозможны дыхание, образование крови, белковый, углеводный и жировой обмены. Тем не менее поступление этих веществ из внешней среды в избыточных количествах приводит к различным токсическим эффектам и нарушению жизнедеятельности особей [10, 11].

Очевидно, что гидробионты, обитающие в одном и том же водном объекте, должны иметь сходный элементный состав в силу сравнительной однородности среды [2–4, 7–11]. Однако различия между гидробионтами, отличающимися характером питания и образом жизни, в содержании элементов в тканях и других органах все же вероятны в связи с различной нагрузкой от загрязнения в отдельных местах водного объекта. Концентрации фосфора, серы, калия и кальция в исследуемых образцах гидробионтов в целом имеют высокие значения, как и предполагалось; наибольшее содержание фосфора и кальция в отсутствие очищенных скелетных элементов обнаружено в жабрах. При сравнении концентра-

ции фосфора в жаберных лепестках и жаберной дуге установлено, что в последнем случае содержание его более чем в 10 раз выше, чем в жаберных лепестках. Высокие концентрации серы отмечены в жабрах и мышцах; максимальное количество калия аккумулируется в мышцах.

В «Гигиенических требованиях к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [12] на данный момент для рыб из элементов нормируются только свинец (1,0 мкг/г), кадмий (0,2 мкг/г), ртуть (0,5 мкг/г) и мышьяк (5,0 мкг/г). В пробах всех анализируемых тканей рыб присутствуют такие тяжелые металлы, как железо, цинк, медь. Количественно в органах исследуемых рыб преобладает железо, содержание которого варьируется, например, в печени от 40,6 до 223 мкг/г. В мышечной ткани камбалы, красноперки и наваги количество железа невелико по сравнению с другими исследованными органами и тканями. В мышечной ткани минтая содержание железа на порядок больше. Вторым по содержанию после железа в тканях исследованных рыб был цинк, депонированный в гонадах, жабрах и печени. Наибольшее количество этого элемента выявлено в жабрах наваги и гонадах красноперки; для мышечной ткани характерны минимальные его значения. Распределение меди в пробах исследованных рыб было схожим как по абсолютному количеству, так и по локализации: максимальные значения отмечены в печени, минимальные – в мышечной ткани. Свинец, хром и кадмий не обнаружены ни в одном из органов исследованных рыб.

Марганец не обнаружен в печени минтая, в печени и мышцах камбалы и красноперки; у этих рыб он присутствовал лишь в жабрах и гонадах. Локализация марганца в тканях тресковых рыб заметно отличалась: в жабрах наваги и печени минтая марганец не обнаружен, однако его концентрация в гонадах минтая высока. Содержание селена, являющегося биологически активным микроэлементом, обеспечивающим нормальную функцию ферментативной антиоксидантной системы организма, в два раза выше в печени камбалы и примерно одинаково в мышечной ткани всех видов рыб. Большое содержание брома характерно для проб минтая. Количество брома в тканях других рыб значительно меньше; наибольшие его показатели характерны для печени. Титан не обнаружен в пробах образцов наваги, в мускуле и печени камбалы, однако в пробах, приготовленных из жабр камбалы, его содержание составляет 30,5 мкг/г. Такая же зависимость характерна для циркония: его содержание в жабрах камбалы составляет 2,22 мкг/г. Токсичный элемент мышьяк не обнаружен в жабрах как наваги, так и камбалы, в то время как в печени и мягкой ткани обеих видов рыб его содержание достигает значений 7,28–11,07 мкг/г, что превышает ПДК (5,0 мкг/г).

Исследование локализации некоторых элементов выявило избирательность их депонирования в том или ином органе или тканях. Так, железо в значительных количествах обнаружено в тканях; селен, рубидий и стронций – в жабрах; цинк и мышьяк – в гонадах. Вероятно, это связано с функциональным значением элементов, так как известно, что железо, цинк и медь активно участвуют в процессах легочного и тканевого дыхания, а также в кроветворении и синтезе гемоглобина рыб [10].

По величине содержания в тканях изученных животных элементы располагаются в следующие убывающие ряды:

- минтай: Fe > Sr > Zn > Mn > Br > Cu > Rb > Se;
- навага: Fe > Sr > Zn > Cu > Mn, Br > Se;
- камбала: Fe > Zn > Sr > Cu > Mn > As > Se > Br;
- красноперка: Fe > Sr > Zn > Mn > Cu > Br > Se > As.

Полученные данные соответствуют выявленным ранее закономерностям аккумуляции элементов гидробионтами разных трофических уровней с учетом различия в распределении и концентрации элементов в зависимости от экологической специфики рыб, а именно о преобладании тяжелых металлов в организме бентофагов, планктонофагов, детритофагов и пониженном уровне металлов в тканях хищных рыб [2–5, 8, 9, 13]. В питании минтая залива Петра Великого преобладает зоопланктон; в пищевом спектре камбалы и наваги значительную долю составляют бентосные организмы; у красноперки присутствует детрит. Возможно, что некоторые обнаруженные особенности распределения элементов в тканях камбалы, наваги, красноперки и минтая отчасти объясняются экологическими особенностями видов. По имеющимся данным [8], в связи с разным содержанием железа, цинка и марганца в окружающей водной среде, концентрации этих элементов при переходе водных обитателей от морских к пресным водам возрастают в ряду морские и полупроходные рыбы → пресноводные рыбы. Количество железа у красноперки и камбалы – рыб, живущих как в морских, так и опресненных водах, почти в два больше, чем у минтая и наваги.

Предполагается, что таксономически близкие гидробионты, обитающие в одном и том же водном объекте, должны иметь определенное сходство в элементном составе в силу значительной однородности среды [5]. В то же время есть сведения, что рыбы разных видов из одного водоема обнаруживают большее сходство в картине распределения тяжелых металлов, чем один и тот же вид из разных, особенно внутренних, водоемов [8]. Наши исследования показали соизмеримые показатели металлов у тресковых (наваги и минтая) и достоверные отличия в содержании железа и марганца у тресковых, камбалы и красноперки. Сравнение химического состава минтая и наваги выявило более высокий уровень содержания макроэлементов – цинка в органах наваги, а мышьяка в мышечной ткани минтая. Однако концентрация кальция в печени наваги ниже, чем у минтая, в четыре раза. В мышечной ткани наваги также в меньших количествах аккумулируются железо, марганец, бром, причем показатели по последнему элементу отличаются в 10 раз.

Известно [2, 11], что видовая специфичность моллюсков проявляется в концентрировании разных элементов в большей или меньшей степени. Например, было обнаружено, что уровень содержания железа в анадаре Броутона значительно выше, чем в остальных видах, в том числе и в мускуле тихоокеанской мидии и приморского гребешка. Как видно из табл. 16.3 и как следовало ожидать, раковины сеголеток обоих видов состоят из кальция, содержание которого в раковинах как мидии, так и гребешка одинаково. В раковинах мидии и гребешка присутствует также и стронций, причем концентрация его в раковине тихоокеанской мидии в полтора раза больше, чем в раковине приморского гребешка.

В мягкой ткани мидии по сравнению с гребешком содержится в два раза больше кальция. Концентрация стронция в то же время примерно одинакова: в ткани мидии 42,6 мкг/г, в ткани гребешка 51,7 мкг/г. Количество фосфора и калия в мягкой ткани моллюсков одинаково и довольно значительно.

Концентрация железа в мускуле приморского гребешка в три раза превышает его концентрацию в тканях тихоокеанской мидии, и его содержание больше, чем всех других тяжелых металлов. Это согласуется с рядами убывания концентраций тяжелых металлов, установленных для данных видов моллюсков в работе [2, 9, 14]:

$Fe > Zn > Mn > Cu > Rb > As > Li > Se > Pb > Cd > Co > Ni > Cr$ – мидия тихоокеанская;

Fe > Zn > Cd > Cu > Mn > As > Se > Pb > Co = Cr – гребешок приморский.

Таблица 16.3

**Средняя концентрация микроэлементов в раковине* и мягкой ткани
сеголеток мидии тихоокеанской и гребешка приморского, мкг/г сырой массы**

Элемент	Мидия	Гребешок
	Мягкие ткани	Мягкие ткани
P	2700±270	2800±280
S	2900±290	4100±410
K	300±45	300±45
Ca	5200±520	2900±290
Ti	29,50±5,90	32,10±6,42
Mn	12,90±2,58	35,60±7,12
Fe	101±15	325±49
Cu	3,90±0,97	6,93±1,73
Zn	58,10±11,62	116±17
As	—**	—
Se	1,94±0,48	4,20±1,05
Br	1,78±0,44	3,86±0,96
Sr	42,60±8,52	51,70±10,34
Cd	—	5,89±1,47
Ni	—	7,60±1,90

Примечания: «*» – мидия: Ca – 96000; Sr – 1100; гребешок: Ca – 92000; Sr – 800; «**» – не обнаружено.

Концентрация цинка в анализируемых авторами образцах мягкой ткани мидии и гребешка превышает концентрацию меди, что также соответствует их положению в указанных рядах распределения элементов. Причем содержание как Zn, так и Cu в мягкой ткани гребешка два раза больше, чем в мягкой ткани мидии, но концентрация Zn, как видно из табл. 16.3, на два порядка больше в мягких тканях мидии и на три порядка больше в мускуле гребешка.

Однако по сравнению с данными, приведенными в работах [2, 9, 14], в мягких тканях сеголеток мидии и гребешка, собранных в 2011 г. в б. Северная, не обнаружено токсичных элементов As, Rb, Li, Co и Pb. В мидии, по нашим данным, также нет тяжелых металлов Cd и Ni, которые накапливаются в мягкой ткани гребешка (5,89 и 7,6 мкг/г соответственно). В мягкой ткани обоих моллюсков обнаружены Ti, Br, S, P, Sr, данных о содержании которых авторы [2, 3, 8, 9, 11] не приводят, что, по-видимому, связано с возможностями применяемых методов анализа объектов. Используемый нами рентгенофлуоресцентный метод позволяет определять указанные микроэлементы (Ti, Br, S, P), присутствующие в пробе, в отличие от используемого ранее для анализа сложных проб метода атомно-абсорбционной спектроскопии.

В мягкой ткани мидии и гребешка присутствуют также марганец и биологически активный элемент селен. Причем, по нашим данным, содержание Mn в

мягкой ткани гребешка приморского значительно больше концентрации Cu и Cd, что не соответствует их положению в указанном ряду концентрации для гребешка, приведенному в работах [2, 14].

Как видно из табл. 16.3, концентрации биологически активных элементов P, S, K и Ca в мягких тканях мидии и гребешка имеют большие значения. Концентрация железа в мягких тканях гребешка в три раза больше, чем в мягких тканях мидии. Для серы наблюдается такая же закономерность: ее концентрация в мягких тканях гребешка в 1,5 раза больше.

Порядок убывания концентраций микроэлементов в мягких тканях сеголеток мидии тихоокеанской и гребешка приморского (см. табл. 16.3) имеет следующий вид:

Ca > S > P > K > Fe > Zn > Sr > Ti > Mn > Cu > Se > Br > Cd = Ni = As – мидия тихоокеанская;

S > Ca > P > Fe > K > Zn > Sr > Mn > Ti > Ni > Cu > Cd > Se > Br > As – гребешок приморский.

Сравнение элементного состава раковин и мягких тканей двух видов моллюсков – мидии тихоокеанской и гребешка приморского с известными ранее данными с учетом меняющихся во времени условий среды позволяет сделать вывод о том, что элементный состав моллюсков зависит от специфических особенностей организма, но в то же время динамично меняется при изменении условий среды обитания. Следует отметить, что концентрация токсичных элементов в мягких тканях мидии тихоокеанской и гребешка приморского не превышает ПДК для моллюсков (Pb – 10 мкг/г; As – 5,0 мкг/г; Hg – 0,2 мкг/г; Cd – 2,0 мкг/г).

Приморский гребешок (*Mizuhopecten yessoensis*) является одним из наиболее ценных промысловых и культивируемых видов гидробионтов, сведения о минеральном составе его органов дают информацию, характеризующую качество данного морепродукта, являющегося одним из источников необходимых человеку микроэлементов. Возрастная динамика уровней элементов в организме есть отражение результирующего действия целого ряда факторов, в частности интенсивность роста на разных стадиях онтогенеза, изменение физиологического состояния организма, интенсивность метаболизма, состояние окружающей среды и некоторые другие составляющие.

Данные по возрастной динамике элементов в тканях моллюсков весьма противоречивы [15–19]. Для приморского гребешка из бухты Миноносок (залив Петра Великого, Японское море) наблюдалось статистически значимое снижение концентраций элементов в пищеварительной железе с увеличением их возраста. Сравнение концентраций элементов в пищеварительной железе спата и годовиков показало для Mn снижение концентраций в 6,5, для Fe – в 2,7, для Cu – в 3,0 и для Zn – 1,5 раза. Такое снижение связывают с уменьшением интенсивности клеточного метаболизма, т.е. состава и количества ферментов при переходе от молоди к половой зрелости. Известно, что в это время снижается относительная скорость роста и интенсивность дыхания. Для гребешков возрастной группы от 2 до 8 лет из других районов залива Петра Великого связи между возрастом особей и уровнем содержания элементов в тканях были не столь очевидны и выявлены не для всех металлов.

Среди физиологических показателей индивидуальный возраст является одной из наименее изученных переменных величин, что связано с отсутствием методов его достоверного определения у большинства гидробионтов. Поэтому при

анализе онтогенетических особенностей каких-либо процессов у водных организмов зачастую используют лишь такие косвенные показатели возраста, как изменения массы или размеров животных. Это приводит к несоответствию между стройностью теоретических моделей, которые включают понятие «возраст», и несовершенством способов оценки этого параметра. Известно, что у морских двустворчатых моллюсков отсутствует линейная зависимость между размерно-весовыми параметрами и их возрастом. В зависимости от среды обитания и особенностей онтогенеза размеры раковины и масса моллюска одного возраста варьируют, и особи, отличающиеся по размерам, могут иметь схожий возраст и, соответственно, экспозицию относительно аккумуляции микроэлементов [20].

В связи с этим более удобными объектами для изучения возрастной динамики элементного состава тканей являются гидробионты, выращиваемые в условиях марикультуры. Так, интересные данные получены при проведении сравнительного анализа содержания элементов в мягких тканях культивируемого двухлетнего разноразмерного приморского гребешка. Показано, что концентрация Mn, Fe, Zn и Cd в тканях моллюсков с длиной раковины 3–5 см выше, чем у гребешка длиной 7–8 см, тогда как концентрации Cu и Pb возрастают с увеличением раковины моллюска [21].

В таблице 16.4 представлены уровни содержания элементов в тканях пищеварительной железы, мускула и жабр однолетнего и двухлетнего приморского гребешка, выращенного в марикультурном хозяйстве бухты Северная залива Петра Великого.

Таблица 16.4

Средняя концентрация микроэлементов в тканях разновозрастного приморского гребешка бухты Северная, мкг/г сырой массы

Элемент	Однолетний приморский гребешок			Двухлетний приморский гребешок		
	Пищеварительная железа	Мускул	Жабры	Пищеварительная железа	Мускул	Жабры
Fe	200±30	10,83±2,17	25,91±5,18	150±22,5	8,42±2,10	21,84±4,37
Zn	45,91±9,18	18,11±3,62	59,62±11,92	39,83±7,97	25,73±5,15	72,73±14,55
Br	43 338,67±	21,43±4,29	46,81±9,36	46,11±9,22	6,75±1,69	31,42±6,28
Cu	8,31±1,66	7,22±1,44	6,55±1,64	4,95±1,24	1,10±0,27	0,97±0,24
Sr	7,52±1,88	2,81±0,70	8,43±2,11	8,80±2,21	2,72±0,68	6,14±1,54
Pb	7,11±1,78	5,64±1,41	4,91±1,23	1,24±0,31	1,12±0,28	2,33±0,58
Cd	8,54±2,13	0,29±0,07	0,42±0,11	13,22±2,64	0,21±0,05	0,47±0,12
As	1,10±0,27	0,41±0,10	0,44±0,11	6,48±1,62	1,40±0,35	2,67±0,67
Hg	—*	—	—	0,17±0,04	0,008±0,003	—

Примечание: «*» – не обнаружено.

Сравнивая количественные значения элементов у разновозрастных моллюсков, следует отметить, что в целом уровень содержания эссенциальных микроэлементов в тканях однолетнего гребешка несколько выше, а концентрации токсичных тяжелых металлов несколько ниже, чем у двухлетних особей. Элементы

распределяются в органах моллюсков неравномерно, во многом соответственно выполняемым ими функциям. По уровню накопления в тканях и органах одно- и двухлетних особей приморского гребешка элементы можно расположить следующим образом:

однолетний приморский гребешок:

пищеварительная железа: $Fe > Zn > Br > Cu > Sr > Cd > Pb > As$;

мускул: $Br > Zn > Fe > Cu > Sr > Pb > As > Cd$;

жабры: $Zn > Br > Fe > Sr > Cu > Pb > As > Cd$;

двухлетний приморский гребешок:

пищеварительная железа: $Fe > Br > Zn > Cd > Sr > As > Cu > Pb > Hg$;

мускул: $Zn > Fe > Br > Sr > Mn > As > Cu > Pb > Cd > Hg$;

жабры: $Zn > Br > Fe > Mn > Sr > As > Pb > Cu > Cd > Hg$.

Группу преобладающих по содержанию элементов в тканях одно- и двухлетних моллюсков составили железо, бром и цинк. Для всех исследованных особей приморского гребешка характерна максимально высокая концентрация железа в пищеварительной железе, многократно превышающая уровни накопления других металлов; в 7–8 раз меньше железа содержат жабры и в 18 раз меньше – мускул. Количественные показатели железа в тканях однолетних гребешков в 1,2–1,3 раза выше, чем двухлетних. Высокие концентрации железа в пищеварительной железе приморского гребешка были отмечены ранее [15]. Пищеварительная железа моллюсков является важнейшим органом детоксикации; в ней происходит депонирование железа и других биометаллов [15]. Железобелковые комплексы расходуются на образование различных гемопротеинов, в том числе железосодержащих ферментов цитохромов, каталаз и пероксидаз, участвующих в процессах тканевого дыхания [22].

По уровню содержания цинка лидируют жабры моллюсков обоих возрастов; по сравнению с ними в 1,3–1,8 раза меньше цинка содержится в пищеварительной железе и в 3 раза меньше в мускуле. Количественные показатели цинка в ткани пищеварительной железы у однолетних и двухлетних моллюсков различаются незначительно, тогда как в жабрах и мускуле у двухлетних особей цинка в 1,2–1,4 раза больше, чем у однолетних. Известно, что цинк входит в состав целого ряда металлоферментов, вовлеченных в узловые биохимические процессы в клетках (карбоангидраз, дегидрогеназ, фосфатаз, протеиназ, пептидаз и т.п.); играет существенную роль в стабилизации рибосом и биополимеров. От его внутриклеточного содержания зависит прохождение гликолитических и окислительных процессов [16]. Среди моллюсков максимальная концентрация цинка отмечена в тканях устриц [17, 23]. В тканях у приморского гребешка идентифицированы цинксодержащие металлоферменты энергетического обмена – кислые и щелочные фосфатазы, участвующие в фосфорном и липидном обменах; супероксиддисмутаза – фермент антиоксидантного действия, который индуцирует биосинтез защитных белков клетки – металлотионеинов, т.е. является антиоксидантом репаративного действия. Многие щелочные фосфатазы одновременно являются металлозависимыми ферментами; двухвалентные ионы других металлов стабилизируют их структуры и повышают активность [24].

У моллюсков обеих возрастных групп уровни содержания брома в ткани пищеварительной железы и жабрах имеют близкие значения; в мускуле его содержится в несколько раз меньше. У однолетнего гребешка концентрация брома в ткани мускула втрое выше, чем у двухлетнего. Функция брома в тканях у мол-

люсков не изучена; у высших позвоночных бром участвует в активизации пищеварительных ферментных систем, например способствует переходу пищеварительного фермента пепсина из неактивной формы в активную, активизирует такие ферменты, как липаза и амилаза [25].

Медь по уровню содержания в тканях приморского гребешка многократно уступает железу, цинку и бром. У однолетних моллюсков концентрации этого металла в тканях значительно выше, чем у двухлетних. Так, например, в пищеварительной железе однолетних особей содержится в среднем в 1,5 раза, а в жабрах и мускуле в 6–6,5 раза больше меди, чем у двухлетних. Интересно, что у однолетнего гребешка уровни содержания меди в изученных тканях различаются незначительно, тогда как у двухлетних особей количество меди в пищеварительной железе в 5 раз выше, чем в жабрах и мускуле. Среди тяжелых металлов медь отличается высокой токсичностью и в то же время является необходимым кофактором нескольких важнейших окислительно-восстановительных ферментов, в частности цитохромоксидазы и некоторых других, связанных с процессами гидроксигирования, переноса кислорода и электронов, а также окислительного катализа. Медь может способствовать образованию активных форм кислорода в клетках при нормальном клеточном метаболизме, а также вызывать окисление сульфгидрильных групп ферментов, инактивируя их. Повышенный уровень меди в воде приводит к ее аккумуляции морскими организмами и усилению процессов свободно-радикального окисления [26]. Доказана способность гидробионтов аккумулировать медь из окружающей среды либо захватом гидроокисей этого металла жабрами, либо хемосорбцией ионов на слизистой, либо поглощением ее из донных отложений [16].

Содержание стронция в жабрах и пищеварительной железе моллюсков обоих возрастов различается незначительно и в среднем в 2,5–3 раза превышает его количественные значения в мускуле. Стронций из-за его структурного сходства с кальцием обладает способностью замещать его в скелетных структурах, в том числе в хрящевой ткани жабр, следствием этого является нарушение обмена кальция в организме. Обнаружение стронция в пищеварительной железе моллюсков, возможно, обусловлено функцией детоксикации и депонирования токсичных соединений тканью железы.

В исследованных органах приморского гребешка обнаружены свинец, кадмий, мышьяк и ртуть. По содержанию токсичных элементов лидирует пищеварительная железа моллюсков, далее следуют жабры и, наконец, мускул. У двухлетних моллюсков концентрация кадмия в пищеварительной железе в 1,5 раза выше, чем у однолетних. В тканях жабр и мускула у моллюсков обоих возрастов уровни содержания кадмия имеют близкие значения, но на порядок меньшие, чем в пищеварительной железе.

Ранее было показано [15], что годовалые особи приморского гребешка способны аккумулировать большое количество кадмия в пищеварительной железе, как при фоновых концентрациях этого тяжелого металла, так и при повышенном его содержании в водной среде, причем без видимого патологического эффекта. В исследовании, проведенном на половозрелых особях приморского гребешка, показано, что аккумуляция кадмия вызывает перераспределение меди, цинка и железа в пищеварительной железе. Высокие концентрации кадмия в пищеварительной железе и почках были также обнаружены у других представителей семейства Pectinidae, обитающих в акваториях с низким содержанием кадмия [18, 19].

У двухлетних особей в пищеварительной железе и жабрах содержится в 6 раз больше, а в мускуле в 3,5 раза больше мышьяка, чем у однолетних. Известно, что мышьяк в низких концентрациях относится к ретикуло-эндотелиальным элементам, т.е. принимает участие в процессах выработки иммуноглобулинов, в нуклеиновом обмене и необходим для синтеза гемоглобина. Однако в избыточных концентрациях мышьяк обладает высокой токсичностью [27].

В отличие от однолетнего у двухлетнего приморского гребешка обнаружено незначительное количество ртути в мускуле и пищеварительной железе. В соответствии с работой [23] содержание токсичных элементов в тканях разновозрастных моллюсков из бухты Северная не превышает предельно допустимых значений, за исключением кадмия в пищеварительной железе, концентрация которого составила 8,5 и 13,2 мкг/г сырой массы (ПДУ – 2,0 мкг/г сырой массы).

Уровень содержания токсичных металлов в тканях гидробионтов зависит от целого ряда факторов: видовой принадлежности, возрастной изменчивости содержания микроэлементов, типа питания, геохимического фона среды. В результате антропогенного воздействия концентрации поллютантов, в том числе и тяжелых металлов, в компонентах морской среды могут многократно возрастать [27]. Бухта Северная в составе Славянского залива по уровню загрязненности относится к классу умеренно загрязненных прибрежных полужамкнутых акваторий, в которых концентрации растворенных форм металлов повышены за счет увеличения нагрузки с суши [28].

При повышении концентрации тяжелых металлов в морской воде увеличивается уровень их содержания в органах, выполняющих барьерные функции, – в жабрах, пищеварительном тракте, печени гидробионтов. При этом большинство элементов концентрируются в печени, которая выполняет депонирующую функцию по отношению к токсикантам. У моллюсков эту функцию выполняет пищеварительная железа или гепатопанкреас [29].

Результаты исследований авторов выявили достаточно четко выраженную тенденцию к некоторому снижению концентраций эссенциальных элементов в тканях двухлетнего приморского гребешка по сравнению с однолетними особями, что согласуется с данными некоторых других исследований [15]. В то же время в работе, выполненной на приморском гребешке с плантации бухты Северная, было показано, что у однолетних моллюсков средние концентрации Mn, Zn, Cu и Cd в целом мягком теле находились в пределах 0,4–15,5 мкг/г сухой массы; у двухлетних особей содержание этих металлов резко увеличилось (3,1–84,75 мкг/г); у трехлетних моллюсков концентрация микроэлементов вновь снизилась до уровня однолетних особей гребешка (0,4–28,85 мкг/г). Резкое увеличение концентрации металлов у двухлетнего гребешка с последующим снижением у трехлетнего может быть обусловлено высокими темпами роста, характерными для приморского гребешка до трехлетнего возраста. В этот период происходит быстрый прирост массы тела моллюска, во время которого на фоне высокого уровня метаболизма происходит снижение концентраций некоторых элементов [30].

Следует отметить, что причины, а также молекулярные механизмы возрастных изменений концентраций элементов в органах гидробионтов остаются малоизученными. По мнению большинства исследователей, в основе лежат изменения интенсивности тканевого метаболизма, обусловленного изменениями физико-химических параметров среды и физиологическими особенностями организма на данной стадии онтогенеза.

Заключение

Поскольку стабильность элементного состава рыб зачастую рассматривается в качестве индикатора окружающей среды и в качестве безопасности морских гидробионтов как сырья для пищевой промышленности, наши исследования выявили определенные сходство и различия в распределении ряда элементов органами и тканями минтая, наваги, красноперки и камбалы, в зависимости от вида рыбы. Изучение локализации некоторых элементов выявило избирательность их депонирования в том или ином органе или тканях. Так, железо в значительных количествах обнаружено в печени и жабрах; селен, рубидий и стронций – в жабрах; цинк и мышьяк – в гонадах, что связано с функциональным значением элементов. Получены соизмеримые показатели для этих металлов у тресковых (наваги и минтая), а также достоверные отличия в содержании железа и марганца у тресковых, камбалы и красноперки. Сравнение элементного состава минтая и наваги выявило более высокий уровень содержания цинка в органах наваги, мышьяка – в мышечной ткани минтая; концентрация кальция в печени наваги ниже, чем у минтая, в четыре раза. В мышечной ткани наваги также в меньших количествах аккумулируются железо, марганец, бром, причем показатели по последнему элементу отличаются в 10 раз. Полученные данные соответствуют выявленным ранее закономерностям аккумуляции элементов гидробионтами разных трофических уровней с учетом различия в распределении и концентрации элементов в зависимости от экологической специфики рыб.

Сравнение элементного состава раковин и мягких тканей двух видов моллюсков – мидии тихоокеанской и гребешка приморского с известными ранее данными с учетом меняющихся во времени условий среды позволяет сделать вывод о том, что элементный состав моллюсков зависит от специфических особенностей организма, но в то же время динамично меняется при изменении условий среды обитания. Следует отметить, что концентрация токсичных элементов в мягких тканях мидии тихоокеанской и гребешка приморского практически не превышает ПДК. Сравнивая количественные значения элементов у разновозрастных моллюсков одного вида (*Mizuhopecten yessoensis*), следует отметить, что в целом уровень содержания эссенциальных микроэлементов в тканях однолетнего гребешка несколько выше, а концентрации токсичных тяжелых металлов несколько ниже, чем у двухлетних особей. Элементы распределяются в органах моллюсков неравномерно, во многом соответственно выполняемым ими функциям. Результаты наших исследований выявили достаточно четко выраженную тенденцию к некоторому снижению концентраций эссенциальных элементов в тканях двухлетнего приморского гребешка по сравнению с однолетними особями.

Таким образом, полученные данные элементного состава органов и тканей морских промысловых гидробионтов позволяют более правильно судить об их качестве и безопасности, расширяют представления о механизмах аккумуляции элементов и роли отдельных органов конкретных видов промысловых рыб и моллюсков в их накоплении. Полученная нами информация о содержании макро- и микроэлементов, в том числе токсичных, в тканях гидробионтов дополняет и расширяет сведения о химико-экологической ситуации в заливе Петра Великого.

Благодарности. Определение элементного состава образцов выполнялось на оборудовании ЦКП ДВЦСИ ИХ ДВО РАН.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Лисицын, А.П. Геохимический барьер река – море и его роль в осадочном процессе / А.П. Лисицын, Л.Л. Демина, В.В. Гордеев; под общ. ред. А.П. Лисицына, А.С. Мониной // Биогеохимия океана. – Москва: Наука, 1983. – С. 32–47.
2. Ковековдова, Л.Т. Оценка качества отдельных видов промысловых гидробионтов Охотского моря по содержанию металлов и металлоидов / Л.Т. Ковековдова // Вестник Российской военно-медицинской академии. Ч. 1. – 2008. – Т. 23, № 3. – С. 106–117.
3. Патин, С.А. Микроэлементы в морских организмах и экосистемах / С.А. Патин, Н.П. Морозов. – Москва: Пищ. пром-ть, 2003. – 153 с.
4. Ковековдова, Л.Т. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконь, Д.П. Кики // Вопросы рыболовства. – 2006. – Т. 7, № 1 (25). – С. 185–190.
5. Морозов, Н.П. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана / Н.П. Морозов, С.А. Петухов. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 159 с.
6. Бок, Р. Методы разложения в аналитической химии / Р. Бок. – Москва: Химия, 1984. – 432 с.
7. Кашулин, Н.А. Накопление и распределение никеля, меди и цинка в органах и тканях рыб в субарктических водоемах / Н.А. Кашулин, Ю.С. Решетников // Вопросы ихтиологии. – 1995. – Т. 35, № 5. – С. 687–697.
8. Петухов, С.А. К вопросу о «видовых» различиях микроэлементного состава рыб / С.А. Петухов, Н.П. Морозов // Вопросы ихтиологии. – 1983. – Т. 23, № 5. – С. 870–873.
9. Ковековдова, Л.Т. Микроэлементный состав промысловых рыб Дальневосточных морей / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконь, Д.П. Кики // Проблемы регион. экологии. – 2013. – № 2. – С. 72–75.
10. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамури. – Москва: Мир, 1987. – 288 с.
11. Саенко, Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах / Г.Н. Саенко. – Москва: Наука, 1992. – 200 с.
12. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: СанПиН 2.3.2.1078-01: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Российской Федерации: утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2001 г. – Москва: Госкомэпиднадзор России, 2002. – 156 с.
13. Ваганов, А.С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища / А.С. Ваганов // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 5. – С. 143–146.
14. Ковековдова, Л.Т. Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконь // Изв. ТИНРО. – 2004. – Т. 137. – С. 310–320.
15. Силина, А.В. Возрастная и сезонная изменчивость концентраций физиологически важных металлов в пищеварительной железе приморского гребешка из загрязненных и чистых районов / А.В. Силина, Н.Н. Бельчева // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. – 2004. – № 8. – С. 75–86.
16. Киричук, Г.Е. Особенности накопления ионов тяжелых металлов в организме двусторчатых моллюсков // Гидробиологический журнал. – 2003. – Т. 39, № 3. – С. 45–55.

17. Кику, Д.П. Оценка содержания микроэлементов в устрицах гигантских из залива Петра Великого (Японское море) / Д.П. Кику, Л.Т. Ковековдова // Известия ТИНРО. – 2007. – Т. 150. – С. 400–406.
18. Жуковская, А.Ф. Идентификация и частичная характеристика двух высокомолекулярных кадмий-связывающих белков приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* / А.Ф. Жуковская, Н.Н. Бельчева, В.П. Челомин // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 3. – С. 36–42.
19. Жуковская, А.Ф. Особенности механизма адаптации годовалых особей приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* к кадмию / А.Ф. Жуковская, В.П. Челомин // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Т. 1. Экологическая физиология и биохимия водных организмов: сборник научных статей. – Петрозаводск, 2010. – С. 49–55.
20. Золотарев, В.Н. Склерохронология морских двустворчатых моллюсков / В.Н. Золотарев. – Киев: Наукова думка, 1989. – 107с.
21. Вязникова, К.С. Оценка изменения содержания элементов (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях района культивирования приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* зал. Петра Великого, бухта Северная // Известия ТИНРО. – 2018. – Т. 192. – С. 214–233.
22. Альбертс, Б., Молекулярная биология клетки: в 3 т. / Б. Альбертс, Д. Брей, Дж. Льюис [и др.]. – Изд. 2-е. – Москва: Мир, 1994. – Т. 2. – 539 с.
23. Силкина, Е.Н. Влияние тяжелых металлов на функциональные и биохимические показатели морских гидробионтов как индикаторов экологического состояния среды // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25712>
24. Сеткалieceва, А.В. Фосфатазы двустворчатых моллюсков и иглокожих Японского и Охотского морей / А.В. Сеткалieceва, Н.И. Мензорова, В.А. Рассказов // Биология моря. – 2015. – Т. 41, № 1. – С. 46–54.
25. Барановская, Н.В. Биогеохимические особенности накопления брома в организме человека (на примере жителей Томской области) / Н.В. Барановская, Т.А. Перминова // Вестник ОмГАУ. – 2016. – № 3 (23). – С. 155–163.
26. Истомина, А.А. Раздельное и совместное действие недостатка кислорода и меди на антиоксидантную систему *Littorina mandschurica* / А.А. Истомина, Н.В. Довженко, Н.Н. Бельчева, В.П. Челомин // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 1. – С. 17–21.
27. Морозов, Н.П. Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях / Н.П. Морозов // Биогеохимия океана. – Москва: Наука, 1983. – С. 127–164.
28. Бауло, Е.Н. Возможности метода лазерной искровой спектроскопии в экологическом мониторинге водных акваторий марикультуры / Е.Н. Бауло, Л.В. Кучеренко, И.М. Слабженникова, С.Н. Мухина // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2013. – Т. 30. – С. 3–14.
29. Boyden, C.R. The effect of size upon metal content of shellfish / C.R. Boyden // Journal Marine Biology. Of Association of UK. – 1977. – Vol. 57. – P. 675–714.
30. Вязникова, К.С. Содержание металлов и мышьяка в культивируемом приморском гребешке и влияние марикультурного хозяйства в заливе Петра Великого на содержание тяжелых металлов в донных отложениях / К.С. Вязникова, Л.Т. Ковековдова // Вестник АГТУ. Серия: Рыб. хоз. – 2016. – № 3. – С. 109–114.

Информация об авторах

Стеблевская Надежда Ивановна, д-р хим. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории переработки минерального сырья, Институт химии ДВО РАН (ИХ ДВО РАН). E-mail: steblevskaya@ich.dvo.ru

Полякова Наталья Владимировна, канд. хим. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярного и элементного анализа, Институт химии ДВО РАН (ИХ ДВО РАН). E-mail: polyakova@ich.dvo.ru

Жадько Елена Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз». E-mail: zhadko.helen@gmail.com

Чусовитина Светлана Васильевна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз». E-mail: chusovitinasv@mail.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 16. MONITORING OF TOXIC ELEMENTS IN HYDROBIONTS OF PETER THE GREAT BAY OF THE SEA OF JAPAN

**Nadezhda I. Steblevskaya¹, Natalia V. Polyakova¹, Elena A. Zhadko²,
Svetlana V. Chusovitina²**

Abstract. *The concentration of microelements in the organs and tissues of commercial and cultivated aquatic organisms in Peter the Great Bay (Sea of Japan) was studied. The features of distribution and accumulation of microelements by organs and tissues of aquatic organisms are determined. The influence of species differences and habitat conditions on the accumulation and distribution of controlled toxic elements (Pb, As, Cd, and Hg) in tissues and organs of mollusks and fish was shown.*

Keywords: *trace elements; hydrobionts; Peter the Great Bay; X-ray fluorescence method.*

Information about authors

Nadezhda I. Steblevskaya, Dr. Chem. Sci., Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Mineral Raw Materials Processing, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: steblevskaya@ich.dvo.ru

Natalia V. Polyakova, Ph.D. (Chemistry), Senior Researcher, Laboratory of Molecular and Elemental Analysis, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: polyakova@ich.dvo.ru

Elena A. Zhadko, Ph.D. biol. Sci., Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Far Eastern State Technical Fisheries University "Dalrybvtuz". E-mail: zhadko.helen@gmail.com

Svetlana V. Chusovitina, Ph.D. biol. Sci., Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Far Eastern State Technical Fisheries University "Dalrybvtuz". E-mail: chusovitinasv@mail.ru

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

² Far Eastern State Technical Fisheries University "Dalrybvtuz", 52b Lugovaya st., Vladivostok, 690087, Russia.

Глава 17. ИГЛОКОЖИЕ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Т.Р. Удовикин¹, А.П. Черняев², В.Ю. Цыганков^{1,3}

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-172-192>

Аннотация. Исследовано содержание полиароматических углеводородов (ПАУ) в иглокожих акватории г. Владивостока и его окрестностей. Дана оценка их пригодности как индикаторов природы загрязнения прибрежных вод. Всего обработано 28 проб. Суммарная концентрация ПАУ в исследованных объектах варьировалась от 0,66 до 22,27 нг/кг сухой массы. Концентрация бенз[а]пирена в пробах, где он был обнаружен, варьировалась от 0,047 до 1,305 нг/кг сухой массы. Обнаружено, что ПАУ в гидробионтах, собранных непосредственно в бухтах г. Владивостока, имеют пирогенную природу; на некоторые станции значительное влияние оказывают подвижные источники ПАУ.

Ключевые слова: полиароматические углеводороды; Японское море; загрязнение; иглокожие.

Интенсивное развитие различных отраслей промышленности привело к активному накоплению токсических веществ в объектах окружающей среды, что, в свою очередь, обусловило резкое развитие исследований в области охраны окружающей среды и мониторинга загрязняющих веществ. В 1979 г. Женевской конвенцией составлен список из 16 приоритетных поллютантов, входящих в группу стойких органических загрязняющих веществ. Подписавшие стороны закрепили за собой обязательство запретить производство и использование этих веществ. Кроме того, некоторыми странами (США, Канада, страны ЕС) принято постановление об ограничении и регулировании концентраций ПАУ в воздухе, воде, почве [1] и товаров народного потребления [2]. Женевская конвенция ратифицирована СССР, позже Россией. В 2009 г. принят протокол по стойким органическим загрязнителям, дополняющий Женевскую конвенцию, основной целью которого явилось ограничение, сокращение или прекращение выбросов, поступления или выделения в окружающую среду стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ), одними из которых являются ПАУ.

Полициклические ароматические углеводороды или полиароматические углеводороды – органические соединения, для которых характерно наличие в химической структуре двух и более конденсированных бензольных колец. ПАУ являются поллютантами, но не ксенобиотиками, так как могут выделяться вследствие горения органического материала (древесина, торф, угли) и посту-

¹ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

² Институт наукоемких технологий и перспективных материалов, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

³ Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

пать в атмосферу за счет вулканической деятельности. Большое количество ПАУ содержится в нефти [3].

Все ПАУ крайне устойчивы в окружающей среде, обладают канцерогенной, мутагенной и тератогенной активностью, гидрофобны, имеют тенденцию накапливаться в природных объектах, в продуктах питания и в человеческом организме, вызывая в дальнейшем нарушения его функционирования. Среди ПАУ наиболее токсичным соединением является бенз[а]пирен, который можно обнаружить в табачном дыме, питьевой воде и продуктах питания [4].

Осознание важности экологических проблем и негативного действия ПАУ на все уровни пищевой цепи и, как следствие, организм человека заставляет ученых и специалистов всего мира контролировать содержание этих веществ.

В связи с этим *целью* настоящего исследования явилась оценка возможности использования иглокожих в качестве индикаторов загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами морской среды на примере Японского моря.

Полиароматические углеводороды: физико-химические свойства, распространение в окружающей среде, токсичность и биоаккумуляция, метаболизм и деградация

Физико-химические свойства ПАУ

ПАУ образует класс химических соединений, обладающих токсическими, мутагенными и канцерогенными свойствами. Молекулы ПАУ состоят из бензольных колец, сконденсированных при помощи двух или более общих соседних углеродных атомов. Если центры колец в формуле ПАУ расположены на одной прямой, то такие ПАУ являются линейными; если соединены только ломаной линией, то относятся к ангулярным; если расположены группами, их называют кластерными (рис. 17.1) [5].

Существует классификация ПАУ по количеству бензольных колец в их составе [3]:

- низкомолекулярные – три и менее бензольных кольца (нафталин, фенантрен, антрацен и т.д.);
- высокомолекулярные – более трех колец (прирен, хризен, бенз[а]пирен и т.д.).

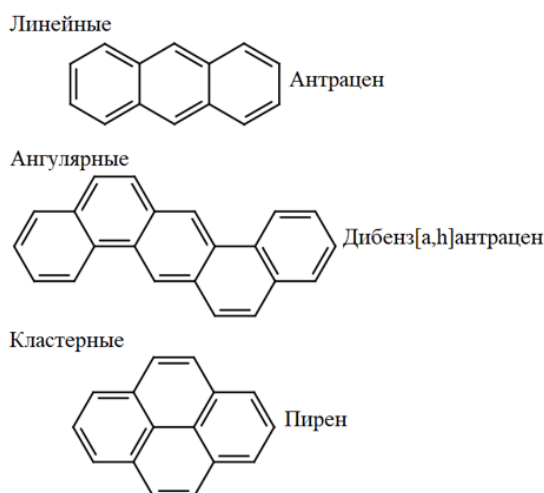


Рис. 17.1. Молекулярная структура полициклических ароматических углеводородов

Наличие сопряженных π -электронных систем в молекуле ПАУ во многом определяет их стабильность. Такая стабильность обусловлена размещением π -электронов на связывающих молекулярных орбиталях молекул ПАУ. При этом антисвязывающие орбитали являются вакантными. Одним из наиболее важных показателей устойчивости ПАУ является количество ароматических секстетов. По мере увеличения количества колец в линейном ПАУ наблюдается «размазывание» электронной плотности по кольцам, что приводит к снижению стабильности, увеличению реакционной способности и склонности ПАУ вступать в реакции присоединения по центральным циклам. При переходе к ангулярным ПАУ реакционная способность центров в *пара*-положениях снижается.

Общими для всех ПАУ являются такие характеристики, как:

- высокие температуры плавления и кипения;
- низкое давление паров;
- низкая растворимость в воде;
- липофильность, вследствие чего их растворимость в неполярных органических растворителях высока.

Одновременно с этим наблюдается следующая тенденция: с ростом молекулярной массы степень растворимости в воде снижается, а устойчивость к окислению и восстановлению возрастает [6].

ПАУ обладают весьма характерными спектрами поглощения УФ-излучения. УФ-спектр для каждого представителя ПАУ уникален, что является важным фактором при их идентификации. Большинство из них способны к флуоресценции с характерными длинами волн поглощаемого и испускаемого света [7].

Распространение в окружающей среде

Известно, что в формировании природного фона канцерогенных ПАУ участвуют различные абиотические и биотические источники. Так, ПАУ обнаружены в материалах метеоритов, магматических породах и гидротермальных образованиях, а также вулканических пеплах. Согласно данным глобальный поток вулканического бенз[а]пирена достигает 1,2 т/год. Атмосферный перенос продуктов вулканической деятельности может оказать заметное влияние на содержание ПАУ в отдельных районах Мирового океана.

Абиотический синтез ПАУ происходит при сгорании органических материалов (лес, травяной покров, торф и т.д.) во время природных пожаров. При этом образуются потоки пирогенных ПАУ, которые, в зависимости от масштаба явления, загрязняют на значительных расстояниях атмосферу, поверхность суши и Мирового океана (до 5000 т). Можно отметить, что естественные выходы нефти через трещины и разломы морского дна могут быть причиной повышенного содержания ПАУ в Мировом океане [8].

Существуют сведения о биогенном синтезе ПАУ. Так, в работах, выполненных с некоторыми культурами микроорганизмов, доказана возможность внутриклеточного биосинтеза бенз[а]пирена, бензофлуорантена и других ПАУ [7, 9].

Повышенное содержание ПАУ, наблюдаемое в настоящее время в Мировом океане, обусловлено в основном источниками антропогенного происхождения: терригенные стоки, содержащие бытовые, промышленные выбросы и отходы производства, смывы с загрязненных территорий; транспортное и промышленное освоение акваторий, включая непосредственное загрязнение морской среды в результате аварийных ситуаций и прямого сброса отходов, а также процессы атмосферного переноса.

В связи с повышенным вниманием к проблеме охраны морской среды важной стала задача, связанная с оценкой содержания ПАУ в донных отложениях, особенно в поверхностных их слоях [10].

Высокие концентрации ПАУ обнаружены в табачном дыме [8], копченой и жареной пище. Однако основными источниками загрязнения окружающей среды следует считать выхлопные газы частных и промышленных печей, автомобильные выхлопные газы.

Особо следует выделить специфический поток, образуемый нефтью и нефтепродуктами. Известно, что содержание многих ПАУ в сырой нефти может достигать нескольких миллионов частей ее массы.

Таким образом, регулярное поступление ПАУ (часто в больших концентрациях) создает необходимость детальных измерений концентрации ПАУ в основных источниках поступления в организм человека.

ПАУ в воздухе. Вместе с другими продуктами сгорания нефтепродуктов, угля, дерева, мусора, пищи и табака ПАУ поступают в воздух, в котором они могут быть в виде молекул в паровой фазе или адсорбироваться к частицам аэрозоля.

Прекрасным адсорбентом для ПАУ являются сажевые частицы. На 1 см² сажевой поверхности могут разместиться до тысячи молекул ПАУ. Это приводит к тому, что загрязненный сажевым аэрозолем воздух городов содержит высокие концентрации ПАУ [11].

Высокие концентрации ПАУ фиксируются вблизи промышленных центров и в областях с высоким потоком грузового транспорта. Концентрация различных соединений ПАУ в воздухе может изменяться в интервале от 0,1 до 100 нг/м³ [12].

Как было сказано выше, ПАУ могут находиться во взвешенном состоянии в атмосфере, что, в свою очередь, оказывает значительное негативное воздействие на наземные организмы и, в частности, человека, вызывая различные респираторные заболевания [7].

ПАУ в воде. Концентрация ПАУ в воде варьируется в зависимости от типа водного источника: поверхностные воды, грунтовые воды и питьевая вода. Поверхностная вода, например речная и прибрежная, может быть сильно загрязнена ПАУ вследствие промышленной и судостроительной деятельности. Масло и нефтепродукты могут загрязнять поверхностные воды из-за недостаточных мер предосторожности или в результате аварийного или преднамеренного сброса производственных отходов [13].

В дополнение к прямому загрязнению ПАУ имеется постоянный вклад к уровням ПАУ в поверхностных водах множеством различных источников. Корабли часто обрабатываются битумом для предотвращения коррозии, и гавани или речные насыпи могут обрабатываться креозотом. Эти противокоррозионные покрытия и агенты пропитки постоянно выделяют ПАУ в воду. ПАУ обнаруживают и в грунтовых водах, но обычно в низких концентрациях [14].

Из-за канцерогенного характера некоторых ПАУ нормативные уровни их содержания в питьевой воде должны быть настолько низки, насколько это возможно. Основным источником ПАУ в питьевой воде – часто не вода, поданная в распределительную систему, а распределительная система непосредственно. Это делает текущий контроль качества воды очень трудным. Даже когда водные источники постоянно контролируются, вода, достигающая потребителя, может быть загрязнена ПАУ.

По нормам Всемирной организации здравоохранения допустимый предел содержания всех ароматических веществ в питьевой воде составляет 200 нг/л. Предельно допустимое содержание бенз[а]пирена в питьевой воде составляет 2,0 нг/л.

ПАУ в продуктах питания. Другой важный источник ПАУ для людей – продукты питания. В отдельных продуктах питания концентрации ПАУ достигают 200 мкг/кг и более. Свежие плоды, овощи и хлебные злаки могут быть загрязнены, особенно в случае их культивации вблизи промышленных районов, поскольку ПАУ, содержащиеся в воздухе, накапливаются на поверхности произрастающих культур. Морские организмы способны биоаккумулировать ПАУ, причем с повышением содержания липидов в тканях организма удельная концентрация ПАУ возрастает [15].

ПАУ в почве. Поскольку ПАУ имеют сильную тенденцию адсорбироваться на органических веществах, они накапливаются в почве и представляют токсикологический риск для флоры и фауны.

Превышение количества ПАУ в почве естественного фона обычно следует из промышленного загрязнения, связанного с процессами сгорания масла и угольных продуктов. В этих местах концентрация ПАУ может составлять от 1000 до 3000 мкг/кг сухой массы почвы.

Токсичность и биоаккумуляция

ПАУ способны отрицательно влиять на различные компоненты трофической цепи, в том числе на низких ее уровнях. На водные организмы ПАУ оказывают токсичное воздействие при содержании в тканях уже на уровне нескольких мкг/г для морских беспозвоночных и рыб. Накопление ПАУ в организме непосредственно к гибели рыбы не приводит, однако стимулирует механизм образования злокачественных опухолей через формирование аддуктов ДНК и химически активных метаболитов ПАУ. Отрицательное воздействие ПАУ на рыб в настоящее время в значительной степени не исследовано, но предполагается, что эти вещества также могут затрагивать механизмы нейротрансмиссии подобно известному инсектициду – дихлордифенилтрихлорэтану. ПАУ могут воздействовать на репродуктивную систему рыб и передаваться через гонады, что усиливает мутагенез и канцерогенез в потомстве [16]. Бенз[а]пирен используется в качестве индикатора ПАУ; его токсичность принята за единицу, относительно которой рассчитывают токсичность остальных ПАУ, несмотря на то что содержание бенз[а]пирена в окружающей среде невелико. Так, в выхлопных газах автомобилей средняя относительная концентрация бенз[а]пирена по отношению к сумме всех ПАУ, принятой за 100 %, составила 2,8 %, флуорантена – 25,3 %, хризена – 14,8 % [17].

Результаты анализов показывают [18], что потенциально канцерогенные углеводороды встречаются в морях повсеместно. Большинство из них – полициклические ароматические соединения, среди которых наиболее известен и распространен бенз[а]пирен. Другие соединения, включающие и ряд бензантраценов, также могут вызывать раковые заболевания, однако важно отметить, что многие родственные соединения не обладают канцерогенным действием. Присутствие ПАУ в воде еще не означает, что существует угроза рака, хотя это может свидетельствовать о присутствии канцерогенов, правда, в значительно меньших количествах, чем общее количество ПАУ.

Планктонные сообщества, населяющие фотическую зону морей и океанов особо чувствительны к изменению состава гидрохимического фона среды. Увеличение содержания ПАУ в морских водах, особенно в продуктивных прибрежных районах, вызывает не только адсорбцию этих соединений на поверхности организмов, как это отмечено у дафний, но и активную внутриклеточную аккумуляцию канцерогенных углеводов. Показано, что для морских планктонных организмов характерен высокий уровень накопления ПАУ, во много раз превышающий их содержание в среде, где они обитают.

По существующим оценкам содержание бенз[а]пирена в планктонных организмах может варьироваться от нескольких микрограмм до тысяч мкг/кг сухой массы. Однако наиболее характерным уровнем накопления бенз[а]пирена, установленным для большинства обследованных акваторий, следует считать уровень от 200 до 500 мкг/кг сухой массы [19, 20].

Процесс биоаккумуляции ПАУ характерен не только для планктонных сообществ, населяющих поверхностную толщу вод, но и для бентосных организмов – животных и растений, средой обитания которых служат донные отложения и твердые субстраты.

Для большинства бентосных гидробионтов основой питания служит взвешенное органическое вещество и детрит грунтов, материал которых во много раз превосходит загрязнение морских вод. Следствием этого является повышенное содержание канцерогенных углеводов в большинстве групп донных организмов – полихетах, моллюсках, ракообразных, а также в макрофитах.

Наименьшее количество ПАУ накапливают водоросли. В зависимости от вида содержание суммы ПАУ в них в пересчете на бенз[а]пирен лежит в диапазоне 0,1–10 мкг/кг сырой массы. Средний коэффициент накопления полиаренов составил соответственно для водорослей – 120, печени рапаны – 2700, различного вида рыб – 540 [21]. Наиболее высокие коэффициенты накопления характерны для органов с высоким содержанием липидов.

Так, в условиях загрязнения морской среды канцерогенными ПАУ накопление бенз[а]пирена наблюдается не только в водорослях и донных беспозвоночных, но и в объектах ихтиофауны. Поскольку морские и пресноводные рыбы являются одним из традиционных объектов промысла человека, присутствие в них канцерогенных соединений представляет собой особую проблему.

Закономерности биоаккумуляции ПАУ в тканях рыбы остаются неизвестными. В общем случае считается, что индивидуальные ПАУ быстро метаболизируют в тканях рыб, что затрудняет определение их содержания [22]. По этой причине интерес к исследованиям распределения ПАУ в органах и тканях рыб не снижается, постоянно сообщаются новые данные. Так, в рыбах Средиземного моря в желчном пузыре зафиксировано доминирование нафталина, фенантрена и флуорена (10–100 нг/г), в печени рыб преобладал фенантрен (32–166 нг/г) [23]. Среднее содержание суммы ПАУ в тканях рыб из Мексиканского залива зафиксировано на уровне 2,17 нг/г сырой массы [24]. В мышечной ткани трески из Северо-Западной Атлантики значимых величин содержания ПАУ зафиксировано не было, однако в печени были обнаружены аценафтен (18 нг/г сухой массы), флуорен (28 нг/г) и хризен (22 нг/г) [23].

Так, исследования, проведенные в некоторых районах Мирового океана, свидетельствуют о прямой корреляции между наличием канцерогенов в морской воде и частотой возникновения опухолей у рыб. В частности, зарегистрирована

высокая частота встречаемости лимфосаркомы щук в центральной и южной частях Балтийского моря, в то время как до 1950-х гг. подобная патология не наблюдалась [14].

Таким образом, нефтяное загрязнение Мирового океана, а также атмосферный перенос ПАУ составляют серьезную экологическую опасность, поскольку они могут привести к накоплению канцерогенных ПАУ в биотическом и абиотическом компонентах морской среды, что в итоге представляет существенную угрозу здоровью человека.

Метаболизм и деградация ПАУ

В настоящее время существует множество исследований на тему метаболизма ПАУ анаэробными и аэробными микроорганизмами – бактериями, грибами и водорослями. Наибольший эффект метаболизма и деградации ПАУ достигается при подходящих для организма условиях среды – температуры, pH, количества питательных веществ и метаболитов [25]. Наиболее эффективными деструкторами ПАУ являются бактерии, далее идут водоросли и грибы. Преимущество бактерий состоит в том, что их генетический аппарат наиболее гибок, что в свою очередь обеспечивает организм набором генов, кодирующих каталитические ферменты; имеет значение их меньший размер (и, как следствие, большая удельная поверхность контакта с ПАУ) в сравнении с размером клеток грибов и водорослей. На данный момент наиболее изучен механизм биотрансформации ПАУ у микробов и грибов, в меньшей степени у водорослей [3].

Метаболизм и деградация низкомолекулярных ПАУ. Низкомолекулярные ПАУ подвергаются метаболизму как в аэробных, так и в анаэробных условиях. В аэробном цикле биodeградации ПАУ необходим молекулярный кислород, который дает начало гидроксилированию ароматических колец. Это приводит к образованию дигидроксиароматических интермедиатов, которые реароматизируются дегидрогеназами. Продуктом процесса являются дигидроксиароматические промежуточные соединения, в которых под действием интрадиол- и экстрадиол-диоксигеназы происходит расщепление орто- и метакольца между двумя гидроксильными группами в присутствии кислорода, что приводит к образованию катехолов. Катехолы, в свою очередь, подвергаются дальнейшей метаболизации и превращаются в промежуточные продукты цикла Кребса [26–29]. Анаэробная деградация ПАУ требует альтернативных кислороду концевых акцепторов электронов – нитратов, сульфатов, марганца, углекислого газа и трехвалентного железа [30]. Рядом исследований показано, что в условиях снижения содержания нитратов анаэробные виды микробов могут использовать нафталин в качестве источника энергии [31].

Метаболизм и деградация высокомолекулярных ПАУ. В ходе некоторых исследований показано, что микробные комплексы денитрифицирующих культур способны минерализовать до 96% фенантрена в течение 20 дней экспозиции [31]. Анаэробная деградация фенантрена, пирена и флуорена в почве смешанным микробным сообществом наблюдалась за счет механизмов денитрификации [32]. Значительная деструкция бенз[а]пирена (до 79 %) наблюдалась у бактерий рода *Cellulosimicrobium* при снижении концентрации нитратов [33]. Схема аэробного и анаэробного метаболизма бенз[а]пирена представлена на рис. 17.2 [3]. Бенз[а]пирен может метаболизироваться грибами, но его метаболиты в данном случае являются канцерогенами, так как имеют сильное сродство к связыванию с ДНК [34].

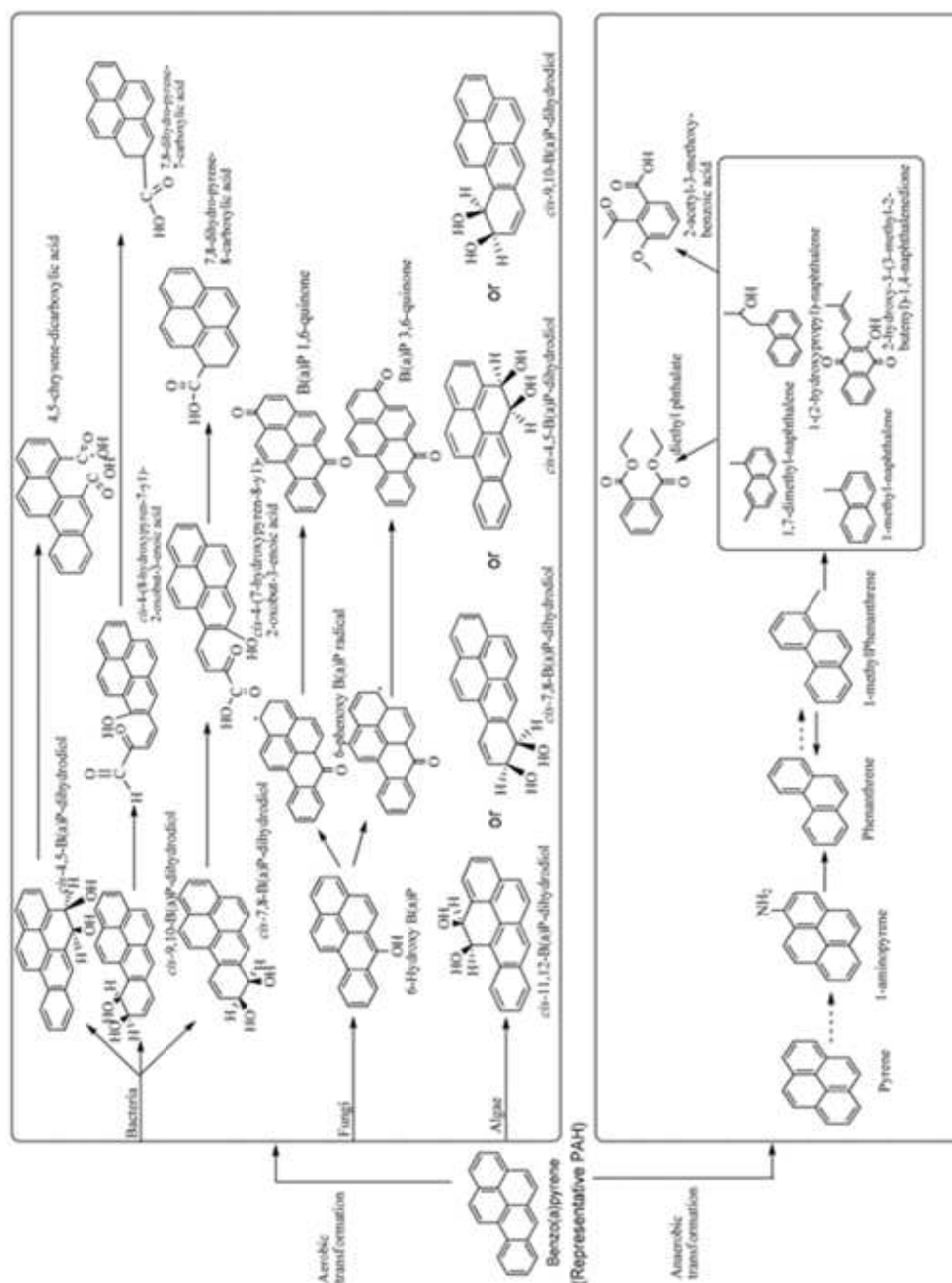


Рис. 17.2. Пути аэробного и анаэробного микробного превращения бенз[а]пирена

Микробная трансформация ПАУ во многом зависит от адаптационной способности самих микроорганизмов – постепенного развития способности к деградации ПАУ при длительном воздействии. В то же время все возможные пути биотрансформации ПАУ неизвестны, что вызывает необходимость изучать микробные метаболиты ПАУ на токсичность [3].

Использование иглокожих в качестве индикаторов ПАУ

На данный момент распространенным и общепринятым методом оценки состояния прибрежных вод является биотестирование на различных стадиях жизненного цикла иглокожих, в частности личиночных стадий морского ежа [35, 36]. В некоторых странах, включая Россию, существуют стандартные процедуры биотестирования, использующие в своей основе стадии жизненного цикла морского ежа [37–41]. Методы биоиндикации и биотестирования характеризуют интегральное состояние водных экосистем, в отличие от аналитических методов, которые дают только дифференциальную картину загрязнения; однако с использованием методов биоиндикации и биотестирования влияние конкретно ПАУ установить не представляется возможным. В то же время морские ежи активно используются учеными в качестве индикаторов загрязнения морской среды при непосредственном анализе ПАУ как с помощью методов газовой [42–44], так и жидкостной хроматографии [45]. Одновременно с этим, существуют исследования относительно биоаккумуляции ПАУ непосредственно в морских звездах [46], морских ежах [47] и голотуриях [48].

Среди голотурий, вызывающих наибольший интерес, выделяются Дальневосточный трепанг (*Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867)) и Японская кукумария (*Cucumaria frondosa japonica* (Semper, 1868)), так как они одновременно являются детритофагами и в то же время имеют промысловую ценность для человека. Из-за своего типа питания они постоянно контактируют с конечным пунктом накопления ПАУ в океане – рыхлым осадком, на поверхности или в составе которого находятся полиароматические углеводороды.

Так, исследования в Персидском заливе показали, что при суммарной концентрации ПАУ в донных отложениях от $10,33 \pm 1,05$ до $186,16 \pm 10,05$ нг/г сухой массы суммарная концентрация ПАУ в съедобной части морских огурцов *Holothuria* (*Mertensiothuria*) *leucospilota* (Brandt, 1835) и *Stichopus variegatus hermanni* (Semper, 1868), схожих по типу питания с *A. japonicus* и *C. frondosa japonica*, составила от $12,49 \pm 0,78$ до $505,44 \pm 26,56$ и от $8,08 \pm 0,63$ до $389,39 \pm 22,97$ нг/г сухой массы соответственно [48].

Морские ежи рода *Strongylocentrotus* всеядны, но предпочитают бурые, зеленые и красные корковые водоросли, морские травы, а также детрит [49]. В Персидском заливе в качестве объекта исследования использовали морских ежей *Echinometra mathaei* (Blainville, 1825). Коэффициент биоаккумуляции ПАУ относительно донных отложений составил от 1,77 до 2,19 [50]. Тип питания этого вида морских ежей сходен с рационом представителей рода *Strongylocentrotus* [51], обитающих в Японском море. Таким образом, коэффициент биоаккумуляции ПАУ вполне может быть применим к виду *Mesocentrotus nudus* (A. Agassiz, 1864) (бывш. *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz, 1864)).

Морские звезды *Asterias amurensis* (Lutken, 1871), обитающие в Японском море, имеют специфические особенности питания. Их рацион в основном состоит из мертвых двусторчатых моллюсков и беспозвоночных, однако часть их рациона все же составляет детрит и эпибиотная пленка с сопутствующими организмами [52]. В связи с этим накопление ПАУ в организмах *A. amurensis* происходит двумя путями: «сестон – беспозвоночные – морские звезды» и «детрит – морские звезды». Вопрос конкретного значения соотношения детрита и беспозвоночных в рационе *A. amurensis* остается открытым, а данные по коэффициентам биоаккумуляции морскими звездами ПАУ относительно донных отложений в

доступной литературе не встречаются, поэтому экстраполировать полученные концентрации ПАУ в их мягких тканях на содержание поллютантов в среде не представляется возможным.

Методы определения ПАУ

В аналитической практике используют два основных метода определения содержания ПАУ: газовую хроматографию с различными вариантами детектирования (масс-спектрометрический, пламенно-ионизационный и другие детекторы) [42–44] и жидкостную хроматографию, в большинстве случаев в обращенно-фазовом режиме с применением спектрофотометрического и флуориметрического детекторов [45].

Подготовку проб для хроматографического определения в последние десятилетия предпочтительно проводят по протоколу QuEChERS в различных модификациях. Из морских ежей отбирают гонады, гомогенизируют, отбирают в пробирку для центрифугирования 1 г навески гонад, прибавляют 600 мкг MgSO_4 , 150 мкг CH_3COONa и 1 мл ацетонитрила. Пробирку с содержимым встряхивают с помощью вортекса 4 мин, после чего центрифугируют при 3500 об/мин 4 мин. Затем верхнюю фазу пропускают через фильтр с порами 0,45 мкм и анализируют. Итальянскими авторами предложены следующие параметры газохроматографической системы с масс-селективным детектированием: газ-носитель – гелий, скорость потока – 1 см³/мин без деления потока, объем вводимой пробы 1 мкл, температура инжектора – 280 °С. Масс-детектор работал в режиме положительной электронной ионизации. Нагрев термостата осуществляли в градиентном режиме: начальная температура 60 °С удерживается 1 мин, после рост температуры до 250 °С (10 °С/мин), удержание температуры в течение 15 мин, повышение температуры до 325 °С (15 °С/мин) и удержание в течение 5 мин. Регистрацию полного ионного тока проводили в МС/МС детекторе по массам ионов индивидуальных ПАУ с использованием библиотеки NIST [43].

Подготовка проб для жидкостной хроматографии происходит следующим образом [45]. Мягкие ткани гомогенизируют, подвергают высушиванию. 2–4 г сухих тканей помещают в аппарат Сокслета и проводят 12-часовую экстракцию смесью ацетон:гексан в соотношении 1:3. Экстракт подвергают очистке с помощью колоночной хроматографии на оксиде алюминия, дезактивированном 10 % воды; в качестве элюента выступает гексан. Анализ на жидкостном хроматографе проводят на колонке с неподвижной фазой C18 и размером частиц 3–20 мкм. Температура колонки в процессе хроматографирования поддерживается при температуре 23,5±0,1 °С. Состав подвижной фазы градиентный: первые 0,5 мин метанол:вода 30:70, затем до 5 мин увеличивают содержание метанола до 80 %, с 5-й по 62-ю минуту содержание метанола поднимают до 100 % и удерживают так еще 1 мин.

Модифицированная собственная методика

Навеску 2 г сухого и измельченного образца тканей биологического объекта помещают в колбу, добавляют 10 см³ дихлорметана и экстрагируют на ультразвуковой бане в течение 15 мин. После экстракции фильтруют через бумажный фильтр и повторяют экстракцию с новой порцией растворителя. После объединения экстрактов их упаривают досуха под вакуумом на ротационном испарителе, масляный остаток омыляют 2 см³ 2 % раствора гидроксида натрия в этиловом спирте в течение 24 ч. Затем сухой остаток перерастворяют в воде и экстраги-

руют 10 см³ дихлорметана. Для лучшего разделения в образовавшуюся эмульсию добавляют хлорид натрия. После разделения фаз органическую фракцию осушают безводным сульфатом натрия и пропускают через колонку с флорисилом (100–200 меш) (5 см³). Полученный экстракт упаривают досуха под вакуумом на ротационном испарителе. Сухой остаток растворяют в 1 см³ ацетонитрила и анализируют методом ОФ ВЭЖХ с применением стандартных растворов индивидуальных ПАУ производства фирмы MERCK (USA).

ПАУ в Японском море

Наиболее распространенными исследованиями ПАУ в Японском море являются работы по определению содержания ПАУ в поверхностных водах [53–55] и донных отложениях [56]. Наиболее актуальные данные в статьях представлены сборами в рейсах 2008–2012 гг.

Публикации на тему ПАУ в поверхностных водах разделены на статьи о юго-восточной [54] и северо-западной [53, 55, 57] части Японского моря.

В августе 2008 г. команда международных исследователей изучила побережье Японии от прибрежной акватории о. Чеджу до о. Хоккайдо. Всего вдоль побережья было заложено 15 станций; наибольшие значения суммарных ПАУ наблюдались в Корейском проливе, на станциях близ городов Тоттори и Канадзава и в южной части о. Хоккайдо. Концентрации суммарных ПАУ составляли 14, 10 и 10 нг/л. Связано это с переносом ПАУ из Восточно-Китайского моря, циркуляционными завихрениями течений близ Тоттори и Канадзава и активным течением в проливе Цугару между Хоккайдо и Хонсю. На остальных участках побережья концентрации не превышали 9 нг/л.

В северо-западную часть Японского моря суммарно совершено 3 рейса. Всего в ходе рейсов исследовано 44 точки. Наибольшие концентрации обнаружены близ г. Владивостока, пос. Терней и пролива Лаперуза – 30, 10 и 10 нг/л соответственно. Высокие концентрации ПАУ в окрестностях Владивостока связаны с нуждами энергетического сектора и портовой деятельностью. Близ поселка Терней повышенные концентрации ПАУ связаны с переносом взвешенных частиц с водами реки Амур Приморским течением. 10 нг/л в проливе Лаперуза обусловлены переносом ПАУ Цусимским течением. На остальной территории северо-западной части Японского моря концентрации не превышали 4,5 нг/л.

Разница в концентрациях ПАУ в северо-западной и юго-восточной частях связана с большей степенью урбанизации Японского побережья и с более высокой активностью каботажного судоходства.

Иглокожие как индикаторы загрязнения ПАУ Японского моря

Всего в ходе исследования обработано 28 проб гидробионтов, из которых 21 проба морских ежей *Mesocentrotus nudus*, 7 проб морских звезд *Asterias amurensis* и одна проба трепанга дальневосточного *Apostichopus japonicus*. Пробы отбирали в 5 точках (рис. 17.3).



Рис. 17.3. Точки отбора проб: 1 – бухта Сухопутная (Тихая); 2 – прибрежная часть скалы, разделяющая бухты Соболев и Сухопутную; 3 – бухта Патрокл; 4 – бухта Аякс; 5 – бухта Перевозная

Пробы по станциям (табл. 17.1):

- бухта Сухопутная (Тихая) – 6 проб *Asterias amurensis*;
- прибрежная часть скалы (далее Скала) – 6 проб *Mesocentrotus nudus*;
- бухта Патрокл – 6 проб *Mesocentrotus nudus*;
- бухта Аякс – 6 проб *Mesocentrotus nudus*;
- бухта Перевозная – 5 проб *Mesocentrotus nudus*, 1 проба *Apostichopus japonicus*.

Таблица 17.1

Концентрация Σ ПАУ в пробах

Номер пробы	Итоговая Σ ПАУ, нг/г сухой массы	Ст. отклонение	Место отбора
1	17,2165	$\pm 2,8668$	Б. Сухопутная
2	7,34	$\pm 1,1378$	Б. Сухопутная
3	16,8504	$\pm 2,6546$	Б. Сухопутная
4	8,4196	$\pm 1,3913$	Б. Сухопутная
5	6,3755	$\pm 1,0798$	Б. Сухопутная
6	4,1630	$\pm 0,6777$	Б. Сухопутная
7	13,3922	$\pm 2,1767$	Скала
8	16,1730	$\pm 2,6394$	Скала
9	22,2747	$\pm 3,5667$	Скала
10	1,6628	$\pm 0,2427$	Скала
11	0,8849	$\pm 0,1304$	Скала
12	1,0196	$\pm 0,1683$	Скала
13	0,6612	$\pm 0,1094$	Б. Патрокл
14	1,1942	$\pm 0,1860$	Б. Патрокл

Окончание табл. 17.1

Номер пробы	Итоговая Σ ПАУ, нг/г сухой массы	Ст. отклонение	Место отбора
15	3,1552	$\pm 0,4764$	Б. Патрокл
16	0,6695	$\pm 0,1018$	Б. Патрокл
17	4,1660	$\pm 0,6782$	Б. Патрокл
18	1,1812	$\pm 0,1708$	Б. Патрокл
19	9,5376	$\pm 1,5614$	Б. Аякс
20	14,2674	$\pm 2,3455$	Б. Аякс
21	5,2544	$\pm 0,8432$	Б. Аякс
22	11,1941	$\pm 1,8230$	Б. Аякс
23	4,1664	$\pm 0,6183$	Б. Аякс
24	13,4553	$\pm 2,2474$	Б. Аякс
25	5,142	$\pm 0,8141$	Б. Перевозная
26	0,431	$\pm 0,0729$	Б. Перевозная
27	5,878	$\pm 0,9353$	Б. Перевозная
28	1,002	$\pm 0,1573$	Б. Перевозная

Отсутствие проб донных отложений на первых трех станциях связано с тем, что все гидробионты на данных станциях были отобраны на скалистом субстрате.

В бухте Аякс сумма ПАУ в донных отложениях – 147 ± 11 нг/г; донные отложения песчаные. В бухте Перевозной сумма ПАУ в донных отложениях составила 296 ± 33 нг/г; донные отложения представлены псамитовыми алевролитами.

Высокие концентрации ПАУ в гидробионтах на станциях «Б. Сухопутная», «Скала» и «Б. Аякс» можно объяснить наличием течения (рис. 17.4) вдоль побережья полуострова Муравьева-Амурского, направленного из кутовой части Амурского залива в сторону о. Русского [58]. На территории данной акватории наблюдается регулярная стоянка судов, вдоль станций «Б. Сухопутная», «Скала» и «Б. Патрокл» пролегает федеральная трасса «Седанка – Патрокл», но сама бухта Патрокл защищена от влияния течения полуостровом Басаргина. Бухта Аякс «встречает» вдольбереговое течение, которое перенаправляется в пролив «Босфор Восточный». Вместе с этим бухта Аякс расположена в непосредственной близости к проливу Босфор Восточный, который является главными «воротами» в порт г. Владивостока.

Для целей определения источников поступления ПАУ существуют специальные индексы петро- и пирогенности, которые указывают на нефтяную природу ПАУ и на поступление ПАУ вследствие горения биомассы. Существует индекс, с помощью которого можно определить загрязненность объектов за счет подвижных источников (транспорта). Полученные данные обработаны при помощи 5 индексов (рис. 17.5):

- антрацен/(Фенантрен+Антрацен), петрогенные – 0,1 – пирогенные [59];
- флуорантен/(Флуорантен+Пирен), петрогенные – 0,4 – пирогенные [59];
- флуорантен/пирен, петрогенные – 1 – пирогенные [60];
- фенантрен/антрацен, пирогенные – 10 – петрогенные [61];
- бенз[а]пирен/бенз[g,h,i]перилен, иные источники – 0,6 – подвижные источники (транспорт) [62].

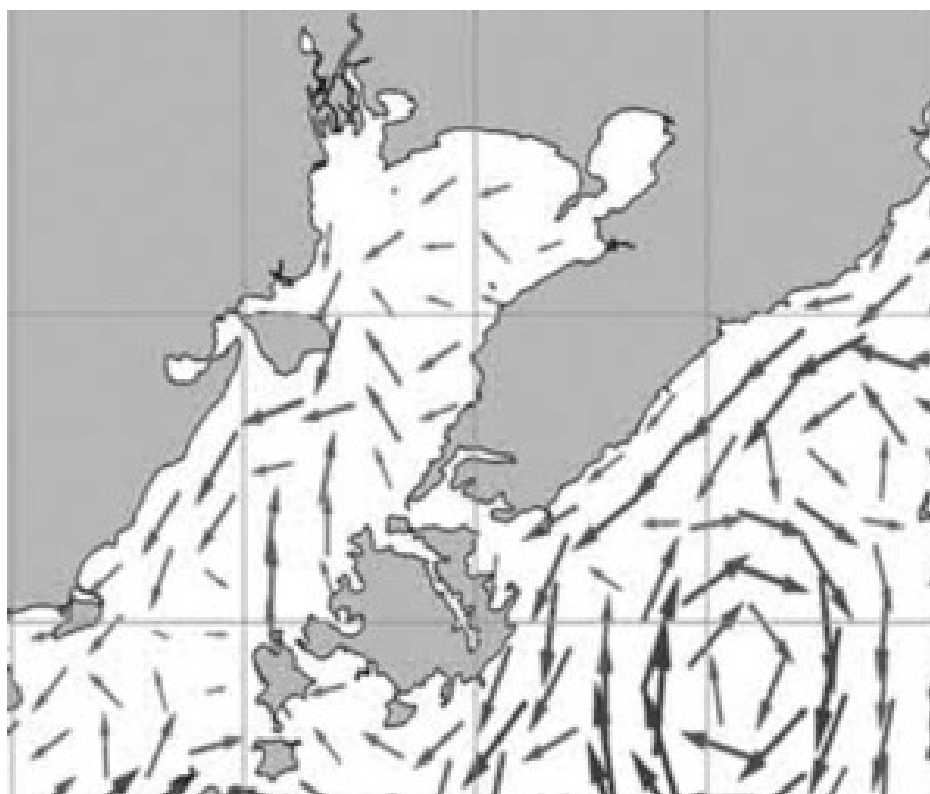


Рис. 17.4. Течения в исследуемой акватории



Рис. 17.5. Источники ПАУ по пробам

Полученные данные, если отбросить нулевые значения, свидетельствуют преимущественно о пирогенной природе ПАУ в анализируемых пробах. При усреднении данных (рис. 17.6) непосредственно по станциям наблюдается схожая картина: на всех станциях, за исключением б. Перевозной, происхождение

ПАУ пирогенное. Большое влияние на природу ПАУ оказывают такие факторы, как сжигание топлива, как для нужд энергетики, так и транспорта, а также различные процессы горения. Б. Перевозная, в свою очередь, расположена вдали от крупных населенных пунктов и не подвергается значительному антропогенному воздействию, из-за чего влияние пирогенных процессов на формирование ПАУ в этом районе ниже.



Рис. 17.6. Источники ПАУ по станциям:

1 – б. Сухопутная; 2 – Скала; 3 – б. Патрокл; 4 – б. Аякс; 5 – б. Перевозная

Усредненные значения по станциям и полученные индексы представлены в табл. 17.2 (светло-серый – пирогенная природа, белый – петрогенная, темно-серый – транспорт). Загрязнение исследуемых объектов ПАУ на станциях Сухопутная, Скала, Патрокл и Аякс имеет пирогенную природу. На станции Перевозная наблюдается смешанное влияние источников ПАУ. Станции Скала и Патрокл подвергаются значительному прессу со стороны автотранспорта.

Таблица 17.2

Коэффициенты по станциям

Станция	Флуорантен / (Флуорантен+Пирен)	Фенантрен / Антрацен	Флуорантен / Пирен	Антрацен / (Фенантрен+ Антрацен)	Бенз(а)пирен / Бенз(g,h,i)перил
Сухопутная	0,7507	8,8657	3,0105	0,1014	0,1090
Скала	0,6929	7,0981	2,2567	0,1235	1,0921
Патрокл	0,7840	7,3349	3,6297	0,1200	0,8779
Аякс	0,5597	5,8989	1,2711	0,1450	0,5234
Перевозная	0,8484	18,1429	5,5942	0,0522	0

Заключение

Вследствие высокой степени развитости транспортной инфраструктуры акватория близ г. Владивостока подвергается значительному антропогенному влиянию. На примере обитателей побережья Японского моря доказана возможность использования игокожих как индикаторов источника поступления ПАУ в морскую среду. ПАУ на всех исследуемых станциях, расположенных в акватории Владивостока, имеют пирогенную природу, две из которых подвержены значительному влиянию выбросов двигательных установок. Станция Перевозная за счет своей удаленности от г. Владивостока менее подвержена антропогенному прессу. Таким образом, игокожие показывают себя как хорошие индикаторы загрязнения окружающей среды полиароматическими углеводородами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Список использованных источников

1. Kim, K.H. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects / K.H. Kim, S.A. Jahan, E. Kabir, R.J. Brown // *Environment international*. – 2013. – Vol. 60. – P. 71–80.
2. European Commission. Commission Regulation (EU) No. 1272/2013 of 6 December 2013 Amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as Regards Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. – 2013.
3. Haritash, A.K. A comprehensive review of metabolic and genomic aspects of PAH-degradation / A.K. Haritash // *Archives of Microbiology*. – 2020. – Vol. 202, no. 8. – P. 2033–2058.
4. Jafarabadi, A.R. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the non-bleached and bleached corals and their ambient environment: The role of suspended particulate matter, mucus, and positive matrix factorization model for identifying contributions to the carcinogenicity of PAH sources / A.R. Jafarabadi, E. Raudonytė-Svirbutavičienė, A.R. Bakhtiari, A. Kareiva // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 787. – P. 147688.
5. Arey, J. Photochemical reactions of PAHs in the atmosphere / J. Arey, R. Atkinson // *PAHs: an ecotoxicological perspective*. – 2003. – P. 47–63.
6. Masih, J. Seasonal variation and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor and outdoor air in a semi arid tract of northern India / J. Masih, R. Singhvi, K. Kumar [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2012. – Vol. 12, no. 4. – P. 515–525.
7. Abdel-Shafy, H.I. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation / H.I. Abdel-Shafy, M.S. Mansour // *Egyptian journal of petroleum*. – 2016. – Vol. 25, no. 1. – P. 107–123.
8. Немировская, И.А. Углеводороды в океане (Снег-лед-вода-взвешенные осадки): дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 04.00.10 / Немировская Инна Абрамовна. – Москва, 2000. – 323 с.
9. Израэль, Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – Москва: Флинта, 2009. – 529 с.

10. Методические указания по определению загрязняющих веществ в донных отложениях № 43 / под ред. С.Г. Орадовского. – Москва: Гидрометеоиздата, 1979.
11. Wu, Y. Occurrence of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the core sediments of the Yellow Sea / Y. Wu, J. Zhang, T.Z. Mi, B. Li // *Marine Chemistry*. – 2001. – Vol. 76, no. 1–2. – P. 1–15.
12. Vasconcellos, P.C. Measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles from the metropolitan area of São Paulo City, Brazil / P.C. Vasconcellos, D. Zacarias, M. A. Pires [et al.] // *Atmospheric Environment*. – 2003. – Vol. 37, no. 21. – P. 3009–3018.
13. Groner, M. Identification of major water-soluble fluorescent components of some petrochemicals / M. Groner, A.R. Muroski, M.L. Myrick // *Marine Pollution Bulletin*. – 2001. – Vol. 42, no. 10. – P. 935–941.
14. Бродский, Е.С. Определение нефтепродуктов в объектах окружающей среды / Е.С. Бродский, С.А. Савчук // *Журнал аналитической химии*. – 1998. – Т. 53, № 12. – С. 1238–1251.
15. Culotta, L. The PAH composition of surface sediments from Stagnone coastal lagoon, Marsala (Italy) / L. Culotta, C. De Stefano, A. Gianguzza [et al.] // *Marine Chemistry*. – 2006. – Vol. 99, no. 1–4. – P. 117–127.
16. Johnson, L. Contaminant effects on reproductive success in selected benthic fish / L. Johnson, E. Casillas, S. Sol [et al.] // *Marine Environmental Research*. – 1993. – Vol. 35, no. 1–2. – P. 165–170.
17. Скурихин, И.М. Все о пище с точки зрения химика / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев – Москва: Высшая школа, 1991. – 288 с.
18. Нельсон-Смит, А. Нефть и экология моря: пер. с англ. / А. Нельсон-Смит. – Москва: Прогресс, 1977.
19. Павленко, Л.Ф. Характеристика загрязнения акваторий Керченского пролива и прилежащих участков Азовского и Черного морей / Л.Ф. Павленко, И.Г. Корпакова, Г.В. Скрыпник, А.А. Ларин // *Екологічні проблеми Чорного моря*. – Одеса: ЦНТПІОНЮА, 2005. – С. 231–237.
20. Керченская авария: последствия для водных экосистем / С.А. Агапов, Д.Ф. Афанасьев, З.В. Александрова [и др.]; Федеральное агентство по рыболовству (Росрыболовство); Федеральное государственное унитарное предприятие «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства». – Ростов-на-Дону: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2008. – 232 с.
21. Павленко, Л.Ф. Загрязнение нефтяными компонентами элементов экосистемы северо-восточной части Черного моря / Л.Ф. Павленко, И.Г. Корпакова, Г.В. Скрыпник, А.А. Ларин // *Екологічні проблеми Чорного моря*. – Одеса: ЦНТПІОНЮА, 2003. – С. 253–256.
22. Deb, S.C. Polycyclic aromatic hydrocarbons in fish organs / S.C. Deb, T. Araki, T. Fukushima // *Marine Pollution Bulletin*. – 2000. – Vol. 40, no. 10. – P. 882–885.
23. Pointet, K. PAHs analysis of fish whole gall bladders and livers from the Natural Reserve of Camargue by GC/MS / K. Pointet, A. Milliet // *Chemosphere*. – 2000. – Vol. 40, no. 3. – P. 293–299.
24. Lewis, M.A. Fish tissue quality in near-coastal areas of the Gulf of Mexico receiving point source discharges / M.A. Lewis, G.I. Scott, D.W. Bearden [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2002. – Vol. 284, no. 1–3. – P. 249–261.

25. Boopathy, R. Factors limiting bioremediation technologies / R. Boopathy // *Bioresource technology*. – 2000. – Vol. 74, no. 1. – P. 63–67.
26. Cerniglia, C.E. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons / C.E. Cerniglia // *Current opinion in biotechnology*. – 1993. – Vol. 4, no. 3. – P. 331–338.
27. Samanta, S.K. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation / S.K. Samanta, O.V. Singh, R.K. Jain // *TRENDS in Biotechnology*. – 2002. – Vol. 20, no. 6. – P. 243–248.
28. Johnsen, A.R. Principles of microbial PAH-degradation in soil / A.R. Johnsen, L.Y. Wick, H. Harms // *Environmental pollution*. – 2005. – Vol. 133, no. 1. – P. 71–84.
29. Cao, B. Biodegradation of aromatic compounds: current status and opportunities for biomolecular approaches / B. Cao, K. Nagarajan, K.C. Loh // *Applied microbiology and biotechnology*. – 2009. – Vol. 85, no. 2. – P. 207–228.
30. Rainer, U.M. Anaerobic degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons FEMS / U.M. Rainer, M. Safinowski, C. Griebler // *Microbiology Ecology*. – 2004. – Vol. 49. – P. 27–36.
31. Rockne, K.J. Anaerobic biodegradation of naphthalene, phenanthrene, and biphenyl by a denitrifying enrichment culture / K.J. Rockne, S.E. Strand // *Water research*. – 2001. – Vol. 35, no. 1. – P. 291–299.
32. Ambrosoli, R. Anaerobic PAH degradation in soil by a mixed bacterial consortium under denitrifying conditions / R. Ambrosoli, L. Petruzzelli, J.L. Minati, F.A. Marsan // *Chemosphere*. – 2005. – Vol. 60, no. 9. – P. 1231–1236.
33. Qin, W. Anaerobic biodegradation of benzo (a) pyrene by a novel *Cellulosimicrobium cellulans* CWS2 isolated from polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil / W. Qin, F. Fan, Y. Zhu [et al.] // *Brazilian journal of microbiology*. – 2018. – Vol. 49. – P. 258–268.
34. Sutherland, J.B. Detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons by fungi / J.B. Sutherland // *Journal of industrial microbiology and biotechnology*. – 1992. – Vol. 9, no. 1. – P. 53–61.
35. ICES. International Council for the Exploitation of the Sea, Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment. – 1997.
36. EPA U.S. Estuarine and coastal marine waters: Bioassessment and biocriteria technical guidance // *Technology*. – 2000.
37. Environment Canada. Biological test method: fertilization assay using echinoids (sea urchins and sand dollars). – 1992.
38. Klemm, D.J. Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving water to marine and estuarine organisms / D.J. Klemm. – US Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1994.
39. Chapman, G.A. Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms / G.A. Chapman, D.L. Denton, J.M. Lazorchak (ed.). – Washington, 1995. – 350 p.
40. ASTM. American Society for Testing and Materials Standard guide for conducting static acute toxicity tests with echinoid embryos. – E 1563-95 Annual book of ASTM standards. – Vol. 11.05 (1995). – P. 1029–1046.
41. Методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – Москва: Изд. ВНИРО, 1998.

42. Angioni, A. GC-ITMS analysis of PAH contamination levels in the marine sea urchin *Paracentrotus lividus* in Sardinia / A. Angioni, A. Cau, M. Secci, P. Addis // *Marine pollution bulletin*. – 2014. – Vol. 82, no. 1–2. – P. 201–207.
43. Angioni, A. QuEChERS method for the determination of PAH compounds in Sardinia Sea Urchin (*Paracentrotus lividus*) Roe, using gas chromatography ITMS-MS analysis / A. Angioni, L. Porcu, M. Secci, P. Addis // *Food analytical methods*. – 2012. – Vol. 5, no. 5. – P. 1131–1136.
44. Pena-Mendez, E.M. Interpretation of analytical data on n-alkanes and polynuclear aromatic hydrocarbons in *Arbacia lixula* from the coasts of Tenerife (Canary Islands, Spain) by multivariate data analysis / E.M. Pena-Mendez, M.S. Astorga-Espana, F.J. Garcia-Montelongo // *Chemosphere*. – 1999. – Vol. 39, no. 13. – P. 2259–2270.
45. Viñas, L. Accumulation trends of petroleum hydrocarbons in commercial shellfish from the Galician coast (NW Spain) affected by the Prestige oil spill / L. Viñas, M.A. Franco, J.A. Soriano [et al.] // *Chemosphere*. – 2009. – Vol. 75, no. 4. – P. 534–541.
46. Den Besten, P.J. Bioaccumulation and biomarkers in the sea star *Asterias rubens* (Echinodermata: Asteroidea): a North Sea field study / P.J. Den Besten, S. Valk, E. Van Weerlee [et al.] // *Marine environmental research*. – 2001. – Vol. 51, no. 4. – P. 365–387.
47. Rocha, A.C. Bioaccumulation of persistent and emerging pollutants in wild sea urchin *Paracentrotus lividus* / A.C. Rocha, C. Camacho, E. Eljarrat [et al.] // *Environmental research*. – 2018. – Vol. 161. – P. 354–363.
48. Khazaali, A. Baseline of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediment and sea cucumbers (*Holothuria leucospilota* and *Stichopus hermanni*) in the northern parts of Persian Gulf / A. Khazaali, A. Kunzmann, K.D. Bastami, M. Baniamam // *Marine pollution bulletin*. – 2016. – Vol. 110, no. 1. – P. 539–545.
49. Кафанов, А.И. Экология промысловых морских ежей рода *Strongylocentrotus* материкового япономорского побережья России / А.И. Кафанов, В.А. Павлючков // *Известия ТИНРО*. – 2001. – Т. 128, № 1–2. – С. 349–373.
50. Keshavarzifard, M. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment and sea urchin (*Echinometra mathaei*) from the intertidal ecosystem of the northern Persian Gulf: Distribution, sources, and bioavailability / M. Keshavarzifard, F. Moore, B. Keshavarzi, R. Sharifi // *Marine Pollution Bulletin*. – 2017. – Vol. 123, no. 1–2. – P. 373–380.
51. Hiratsuka, Y. Feeding ecology of four species of sea urchins (genus *Echinometra*) in Okinawa / Y. Hiratsuka, T. Uehara // *Bulletin of Marine Science*. – 2007. – Vol. 81, no. 1. – P. 85–100.
52. Цихон-Луканина, Е.А. Питание морских звезд *Asterina pectinifera* и *Asterias amurensis* (Echinodermata, Asteroidea) в прибрежных водах залива Петра Великого (Японское море) / Е.А. Цихон-Луканина, Г.Г. Николаева // *Зоологический журнал*. – 2007. – Т. 86, № 10. – С. 1231–1236.
53. Chizhova, T. Distribution of PAHs in the northwestern part of the Japan Sea / T. Chizhova, K. Hayakawa, P. Tishchenko [et al.] // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. – 2013. – Vol. 86. – P. 19–24.
54. Hayakawa, K. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water of the southeastern Japan Sea / K. Hayakawa, F. Makino, M. Yasuma [et al.] // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. – 2016. – Vol. 64, no. 6. – P. 625–631.

55. Neroda, A.S. PAHs in the atmospheric aerosols and seawater in the North-West Pacific Ocean and Sea of Japan / A.S. Neroda, A.A. Goncharova, V.F. Mishukov // *Atmospheric Environment*. – 2020. – Vol. 222. – P. 117.

56. Черняев, А.П. Содержание общих и полиароматических углеводородов в донных отложениях Амурского залива (Японское море) / А.П. Черняев, Е.Н. Зык, М.С. Лягуша // *Научные труды Дальрыбвтуза*. – 2016. – Т. 38. – С. 20–26.

57. Chizhova, T. PAHs in the Northwestern Japan Sea / T. Chizhova, Y. Koudryashova, P. Tishchenko, V. Lobanov // *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. – Springer, Singapore, 2018. – P. 175–202.

58. Дубина, В.А. Вихревая структура течений в заливе Петра Великого / В.А. Дубина, П.А. Файман, В.И. Пономарев // *Известия ТИНРО*. – 2013. – Т. 173. – С. 247–258.

59. Neira, C. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of San Diego Bay marinas / C. Neira, J. Cossaboon, G. Mendoza [et al.] // *Marine pollution bulletin*. – 2017. – Vol. 114, no. 1. – P. 466–479.

60. De Luca, G. Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia harbor (Northern Sardinia, Italy) / G. De Luca, A. Furesi, G. Micera [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2005. – Vol. 50, no. 11. – P. 1223–1232.

61. Жилин, А.Ю. Состав, источники и токсикологический потенциал ПАУ в донных осадках Кольского залива Баренцева моря / А.Ю. Жилин, Н.Ф. Плотицына // *Известия ТИНРО*. – 2009. – Т. 156. – С. 247–253.

62. Katsoyiannis, A. On the use of PAH molecular diagnostic ratios in sewage sludge for the understanding of the PAH sources. Is this use appropriate? / A. Katsoyiannis, E. Terzi, Q.Y. Cai // *Chemosphere*. – 2007. – Vol. 69, no. 8. – P. 1337–1339.

Информация об авторах

Удовикин Тимур Романович, магистрант, Институт Мирового океана (Школа), ДВФУ. E-mail: udovikin.tr@dvfu.ru

Черняев Андрей Павлович, канд. хим. наук, доцент департамента химии и материалов Института наукоемких технологий и передовых материалов ДВФУ. E-mail: chernyaev.ap@dvfu.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, заведующий Лабораторией пищевой биотехнологии и инженерии, директор Департамента комплексных проектов, Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», заведующий Лабораторией прикладной экологии и токсикологии, Институт Мирового океана (Школа) ДВФУ. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 17. ECHINODERMS AS INDICATORS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS POLLUTION OF THE SEA OF JAPAN

Timur R. Udovikin¹, Andrey P. Chernyaev², Vasilii Yu. Tsygankov^{1,3}

Abstract. *In the presented work, the content of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in echinoderms in the water area of Vladivostok and its environs was studied. An assessment of their suitability as indicators of pollution of coastal waters is given. A total of 28 samples were processed. The total concentration of PAHs in the studied objects varied from 0.66 to 22.27 ng/kg dry weight. The concentration of benzo(a)pyrene, in the samples where it was found, ranged from 0.047 to 1.305 ng/kg dry weight. It was found that PAHs in hydrobionts collected directly in the bays of Vladivostok are of pyrogenic origin; mobile sources of PAHs have a significant effect on some stations.*

Keywords: *polyaromatic hydrocarbons; the Sea of Japan; pollution; echinoderms.*

Information about authors

Timur R. Udovikin, Master's student, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: udovikin.tr@dvfu.ru

Andrey P. Chernyaev, PhD, associate professor, Department of Chemistry and Materials, Institute of High Technologies and Advanced Materials, Far Eastern Federal University (FEFU). E-mail: chernyaev.ap@dvfu.ru

Vasilii Yu. Tsygankov, Dr. Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Engineering, Director of the Department of Complex Projects, Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", FEFU; Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Head of the Laboratory of Applied Ecology and Toxicology, Institute of the World Ocean (School), FEFU. E-mail: tsig_90@mail.ru, tsygankov.vyu@dvfu.ru

¹ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Institute of High Technologies and Advanced Materials, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

³ Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems", Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 18. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

К.Р. Фролов^{1,2}, М.И. Артемова¹, А.Е. Чешкин¹, П.М. Артемов²

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-193-204>

Аннотация. На основании результатов мониторинга природных вод и техногенных стоков выявлено негативное воздействие горнопромышленных систем Дальнего и Кавалеровского районов Приморского края на гидрохимический состав рек рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Установлено, что содержание канцерогенных и элементов сульфидных руд (Cr, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb), а также марганца многократно превышает фоновые и предельно допустимые значения. Расчет и оценка риска по Руководству Минздрава РФ Р.2.1.10.1920–04 показали, что суммарный канцерогенный риск для здоровья населения при потреблении воды кл. Ветвистый составляет $2,35 \cdot 10^{-5}$ и соответствует предельно допустимому значению – верхней границе приемлемого риска.

Ключевые слова: Приморский край; горнопромышленные техногенные системы; экологический мониторинг; канцерогенные риски.

Разработка оловосульфидных и полиметаллических месторождений в Приморском крае началась в начале XIX в. Активная фаза строительства рудников, фабрик и необходимой для их функционирования инфраструктуры пришла на середину XX в. В общей сложности в Дальнем и Кавалеровском районах разрабатывалось более десяти оловосульфидных, полиметаллических месторождений, а также борнорудное месторождение, руды которых перерабатывались на фабриках объединений «Дальполиметалл», «Бор» и «Хрустальненский горно-обогатительный комбинат» (ХГОК). Отходы – хвосты обогащения – складировались на одиннадцати хвостохранилищах (ХВ); их общая накопленная масса составляет более 50 млн т. В настоящий момент эксплуатируются только два хвостохранилища, а остальные, в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», могут быть отнесены к объектам накопленного вреда окружающей среде.

В зоне влияния вышеперечисленных техногенных объектов сформировались горнопромышленные системы. В Дальнем районе это техногенные системы Краснореченской и Центральной обогатительной фабрик (КОФ и ЦОФ), а также горно-химического комплекса Бор (рис. 18.1). В Кавалеровском районе находятся техногенные системы пос. Рудный и пгт. Хрустальный (рис. 18.2), а также с. Высокогорск (рис. 18.3).

¹ Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

² Институт наукоемких технологий и перспективных материалов, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

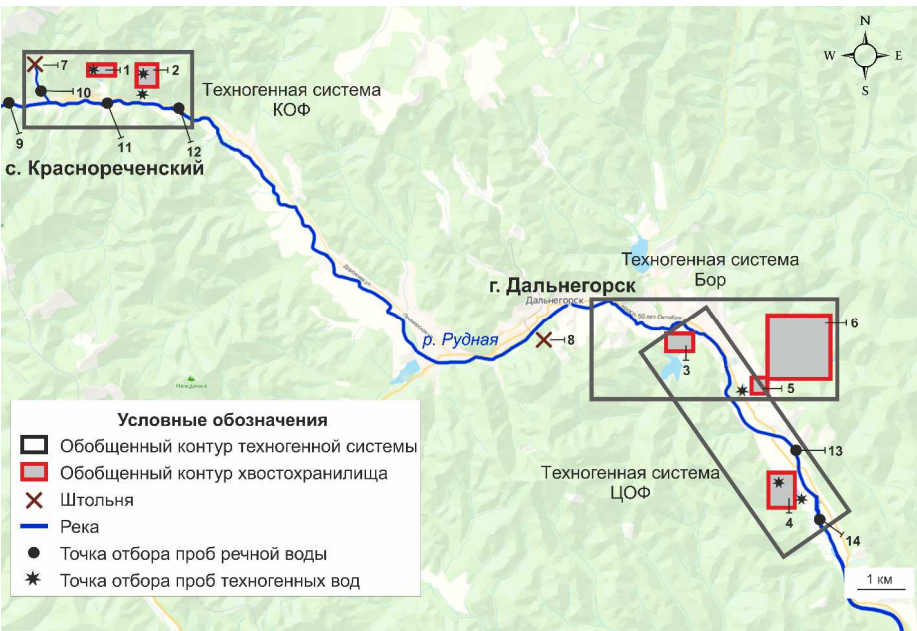


Рис. 18.1. Схематическая карта горнопромышленных техногенных систем
Дальнегогорского района: 1 – старое ХВ КОФ; 2 – новое ХВ КОФ; 3 – старое ХВ ЦОФ;
4 – действующее ХВ ЦОФ; 5 – старое ХВ Бор; 6 – комплекс действующих ХВ Бор;
7 – шт. рудника Краснореченский; 8 – шт. Бункерная; 9 – р. Рудная выше объектов КОФ;
10 – загрязненный рудничными водами ручей; 11 – р. Рудная выше старого ХВ КОФ;
12 – р. Рудная ниже нового ХВ КОФ; 13 – р. Рудная выше действующего ХВ ЦОФ;
14 – р. Рудная ниже действующего ХВ ЦОФ

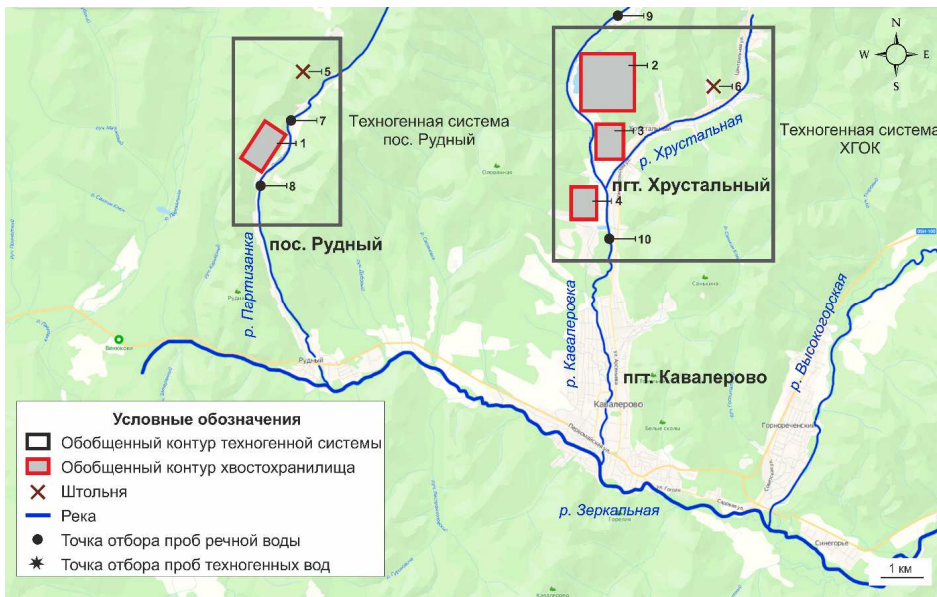


Рис. 18.2. Схематическая карта горнопромышленных техногенных систем Кавалеровского района: 1 – ХВ в пос. Рудный; 2–4 – комплекс ХВ ХГОК; 5 – шт. Капитальная; 6 – м. Хрустальное; 7 – р. Партизанка выше ХВ; 8 – р. Партизанка ниже ХВ; 9 – р. Кавалеровка выше комплекса ХВ ХГОК; 10 – р. Кавалеровка ниже комплекса ХВ ХГОК

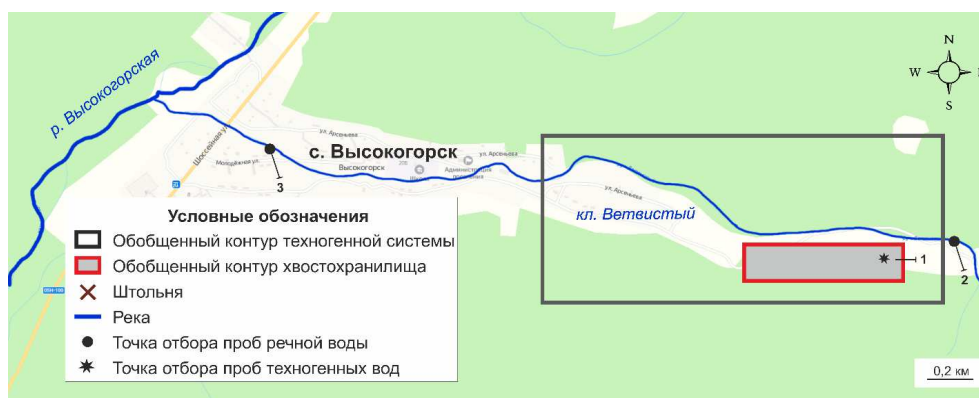


Рис. 18.3. Схематическая карта горнопромышленных техногенных систем Кавалеровского района: 1 – ХВ с. Высокогорск; 2 – кл. Ветвистый выше ХВ; 3 – кл. Ветвистый ниже ХВ

Взаимодействие сульфидной составляющей руд во вскрытых горных выработках и хвостах обогащения с агентами выветривания – атмосферным воздухом, водой и градиентом температур – приводит к активизации процессов их гипергенного преобразования. Результатом становится переход твердого вещества в жидкую фазу, образование водных растворов с токсическими содержаниями элементов сульфидов (Fe, Zn, Cu, Pb, As и S) и вмещающих оруденение пород (Mn, Na, K, Ca, Si и др.), а также осаждение из насыщенных растворов вторичных твердых фаз – гипергенных и техногенных минералов [1].

Необходимо отметить, что процессы гипергенеза в горнопромышленных техногенных системах оказывают наибольший уровень негативного воздействия именно на компоненты гидросферы. Следствием разгрузки техногенных вод (дренажа рудников, шламовых и дренажных вод хвостохранилищ, а также прудков-отстойников) в поверхностные и подземные природные водные объекты становится их загрязнение как по всему миру [2–6], так и в рассматриваемых районах [7–12], что повышает риски для здоровья населения [13–15].

Цель работы – показать текущий уровень загрязнения поверхностных природных вод в зоне влияния горнопромышленных техногенных систем Дальнегорского и Кавалеровского районов Приморского края, а также оценить канцерогенные риски для здоровья населения.

Материалы и методы

Материалами исследования являются гидрохимические пробы техногенных и природных вод, отобранных в Дальнегорском и Кавалеровском районах Приморского края в рамках восьми полевых работ в период с лета 2018 по осень 2021 г. В общей сложности это 169 проб: 26 – рудничных вод месторождений; 24 – дренажных и 34 – шламовых вод хвостохранилищ; 7 – прудков-отстойников, а также 78 – природных поверхностных вод – рек и ручьев (см. рис. 18.1–18.3).

В указанных пробах инструментально с помощью рН-метра Hanna HI 98129 определяли водородный показатель. Химический состав проанализирован в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Для этого пробы очищались через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, анализировались методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (на спек-

трометре iCAP 6500Duo) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (на спектрометре Agilent 7700).

В работе рассмотрено содержание основных канцерогенных и элементов сульфидных руд (Cr, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb), а также марганца. Полученные значения концентраций сравнивались: с содержанием веществ в фоновых точках отбора, с предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Министерства сельского хозяйства России от 13.12.2016 г. № 552) [16], а также с требованиями Сан-ПиН 1.2.3685-21 к водам хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [17].

Оценка канцерогенных рисков произведена для Cr, As, Cd и Pb в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Руководство Минздрава РФ Р. 2.1.10.1920–04. Первым этапом был расчет среднесуточной дозы поступления i -го вещества в организм $LADD_i$, мг/(кг·день) [18]:

$$LADD_i = \frac{(C_i \cdot CR \cdot ED \cdot EF)}{(BW \cdot AT \cdot 365)}, \quad (18.1)$$

где C_i , мг/л, – концентрация i -го загрязняющего вещества на основании анализа проб; CR – скорость поступления питьевой воды (2 л/день); ED – продолжительность воздействия (70 лет); EF – частота воздействия (365 дней/год); BW – масса тела человека (70 кг); AT – период усреднения экспозиции (70 лет).

Затем определялся канцерогенный риск по конкретному i -му загрязнителю-канцерогену $Risk_i$:

$$Risk_i = LADD_i \cdot SF, \quad (18.2)$$

где $LADD_i$ – среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг·день); SF – фактор наклона, мг/(кг·день)⁻¹.

Далее определяли суммарный канцерогенный риск всех загрязнителей-канцерогенов $Risk$:

$$\sum Risk = Risk_1 + Risk_2 + \dots + Risk_n. \quad (18.3)$$

Для полученных величин выделяли диапазон значений риска и, в соответствии с Руководством Р.2.1.10.1920–04 оценивали мероприятия, необходимые для его снижения.

Результаты и их обсуждение

Дальнегорский район

Река Рудная является главным водосбором Дальнегорского района и относится к водным объектам рыбохозяйственного значения. Ее общая протяженность от истока, расположенного на восточном склоне Сихотэ-Алиня, до устья – бухты Рудной Японского моря – составляет 73 км.

В качестве фоновых концентраций для р. Рудной рассмотрена точка отбора проб, удаленная на 10 км от пос. Краснореченского (см.рис. 18.1, точка 9).

Техногенная система КОФ

Стоки горнопромышленных систем района негативно влияют на гидрохимический фон реки, начиная с пос. Краснореченского, в котором расположена техногенная система одноименной обогатительной фабрики (КОФ). Она состоит

из (см. рис. 18.1): безнадзорных старого и нового хвостохранилищ КОФ (*точки 1 и 2*); закрытого рудника, из которого в безымянный ручей (*точка 10*) круглогодично сбрасываются высококонцентрированные рудничные воды (*точка 7*).

Первым источником загрязнения р. Рудной является загрязненный безымянный ручей (см. рис. 18.1, *точка 10*). В период с июля 2018 по октябрь 2021 г. показатель pH здесь принимал слабокислые значения, от 5,5 до 6,9, а содержание загрязняющих веществ достигало, мкг/л: Mn – 3843,02, Cr – 0,21, Fe – 221,26, Cu – 8,83, Zn – 7989,14, As – 0,33, Cd – 19,91 и Pb – 0,34.

Водородный показатель проб, отобранных в р. Рудной ниже по течению после слияния безымянного ручья перед комплексом хвостохранилищ КОФ (см. рис. 18.1, *точка 11*), принимает слабокислые-слабощелочные значения – 6,77–8,05. Содержание элементов в пробах составляет, мкг/л: Cr – 0,05, Mn – 238,94, Fe – 11,24, Cu – 2,40, Zn – 488,92, As – 0,22, Cd – 1,14 и Pb – 0,04. Сравнение их концентраций с фоновой пробой показывает превышение по Mn до 156, Cr – 2, Fe – 2, Cu – 2, Zn – 166, Cd – 59 и Pb до 2 раз, а значения ПДК_{рыб.хоз} здесь превышаются по Mn до 38, Cu – 2 и Zn до 49 раз.

Между вышеуказанной (см. рис. 18.1, *точка 11*) и следующей точкой отбора проб речных вод – ниже комплекса хвостохранилищ КОФ (см. рис. 18.1, *точка 12*) – расположены безнадзорные старое и новое хвостохранилища КОФ (см. рис. 18.1, *точки 1 и 2*).

На поверхности старого хвостохранилища КОФ расположены так называемые шламовые воды – кроваво-красные лужи с высококонцентрированными растворами (см. рис. 18.1, *точка 1*). Эти воды можно назвать «наиболее агрессивными» растворами в Дальнегорском и Кавалеровском районах. Так, их pH принимает сильнокислые значения от 2,1 до 2,5, а содержание элементов составляет, мкг/л: Cr – от 41,1 до 232,9, Mn – 165927,97–906159,20, Fe – 354403,56–1206713,46, Cu – 665,57–6752,92, Zn – 46869,82–385967,06, As – 75,98–3603,61, Cd – 155,60–1953,91 и Pb – 10,20–44,46. При этом факт сброса данных вод в речную сеть визуально не идентифицируется.

В слабокислых-слабощелочных (pH – от 5,8 до 7,9) шламовых водах нового хвостохранилища КОФ (см. рис. 18.1, *точка 2*) концентрация загрязняющих веществ составляет до, мкг/л: Cr – 0,32, Mn – 1616,67, Fe – 168,52, Cu – 3,68, Zn – 803,79, As – 7,13, Cd – 1,92, Pb – 1,09. Техногенные стоки этого объекта сбрасываются в р. Рудную двумя путями: через дренажный выпуск и через пруд-отстойник. Водородный показатель дренажных вод составляет 7,3–7,9; концентрации Cr достигают 0,32, Mn – 2651,72, Fe – 379,52, Zn – 2494,53, As – 1,81, Cd – 12,68 и Pb – 44,23 мкг/л. Воды пруда-отстойника кислые (3,36–4,37), концентрация загрязняющих веществ в них также высока и достигает, мкг/л: Cr – 0,96, Mn – 18347,33, Fe – 466,90, Cu – 82,81, Zn – 5290,39, As – 4,22, Cd – 38,81 и Pb – 107,40.

В крайней точке р. Рудной (зоны влияния техногенной системы КОФ) водородный показатель слабокислый-нейтральный (5,8–7,1), а содержание загрязняющих элементов достигает, мкг/л: Cr – 0,98, Mn – 547,94, Fe – 228,79, Cu – 3,92, Zn – 1443,98, As – 0,51, Cd – 2,75, Pb – 0,32. Данные концентрации превышают фоновые значения по Cr до 11, Mn – 210, Fe – 21, Cu – 1,5, Zn – 287, Cd – 84, Pb до 1,2 раза, а также ПДК_{рыб.хоз} по Mn в 55, Fe – 5, Cu – 4 и Zn до 14 раз.

Техногенные системы Бор и ЦОФ

Следующим местом отбора проб р. Рудной выбрана точка выше действующего хвостохранилища ЦОФ (см. рис. 18.1, *точка 13*). Она принимает рудничные воды шт. Бункерная (рудник Второй Советский) и дренажные воды комплекса хвостохранилищ Бор. Рудничные воды шт. Бункерная (*точка 8*) характеризуются pH от 6,61 до 8,25, содержание Cr достигает 0,46, Mn – 612,75, Fe – 26,11, Cu – 3,94, Zn – 438,78, As – 9,23, Cd – 1,48 и Pb – 65,89 мкг/л. Слабощелочные дренажные воды Бор (*точки 5 и 6*) с pH от 7,28 до 8,45 имеют концентрации Cr до 0,52, Mn – 551,10, Fe – 119,74, Cu – 3,38, Zn – 143,85, As – 44,21, Cd – 0,07 и Pb – 0,41 мкг/л.

В результате разгрузки вышеперечисленных стоков в точке выше нового хвостохранилища ЦОФ (см. рис. 18.1, *точка 13*) воды имеют нейтрально-слабощелочной уровень pH (7,33–8,45), а концентрации загрязняющих веществ достигают, мкг/л: Cr – 0,88, Mn – 20,51, Fe – 326,17, Cu – 14,47, Zn – 66,86, As – 21,28, Cd – 0,27 и Pb – 0,69. Данные содержания превышают фоновые значения по Cr в 10, Mn – 8, Fe – 30, Cu – 3,5, Zn – 13, As – 20, Cd – 8 и Pb в 2,5 раза, а также ПДК_{рыб.хоз} Mn в 2, Fe – 6,5, Cu – 14,5 и Zn – в 1,3 раза.

Крайняя точка мониторинга р. Рудной – ниже действующего хвостохранилища ЦОФ (см. рис. 18.1, *точка 14*) – кроме всех, обозначенных выше, принимает также техногенные стоки действующего хвостохранилища ЦОФ (*точка 4*). Его дренажные воды слабокислые-нейтральные (от 6,7 до 7,8), а содержание элементов составляет, мкг/л: Cr – до 0,29, Mn – 601,00, Fe – 40,04, Cu – 631,08, Zn – 276,56, As – 16,05, Cd – 0,50 и Pb – 2,59. Как следствие, в точке ниже нового хвостохранилища ЦОФ (см. рис. 18.1, *точка 14*) природные воды имеют слабокислый-слабощелочной pH (6,56–8,74) и концентрации элементов до, мкг/л: Cr – 0,13, Mn – 44,54, Fe – 14,04, Cu – 9,80, Zn – 457,37, As – 25,53, Cd – 2,92 и Pb – 1,56. Эти содержания превышают фоновые значения по Cr в 1,5, Mn – 17, Fe – 1,3, Cu – 2, Zn – 91, As – 24, Cd – 89 и Pb в 6 раз, а также ПДК_{рыб.хоз} Mn в 4,5, Fe – 3,5, Cu – 9,8 и Zn в 46 раз.

Таким образом, максимальное негативное воздействие на гидрохимический фон р. Рудной оказывает горнопромышленная техногенная система Краснореченской обогатительной фабрики в точке ниже нового хвостохранилища ЦОФ. Здесь наблюдаются наибольшие концентрации загрязняющих веществ, которые превышают фоновые значения по Cr до 11, Mn – 210, Fe – 21, Cu – 1,5, Zn – 287, Cd – 84 и Pb до 1,2 раза, а также ПДК_{рыб.хоз} по Mn в 55, Fe – 5, Cu – 4 и Zn до 14 раз. Необходимо отметить, что в предыдущие годы наблюдений, с 2001 по 2011 г. [7, 8], максимальные превышения ПДК_{рыб.хоз} относительно представленных были ниже: по Zn – в 19, Pb – 2, Fe и Mn – в 2 раза.

В целом, в результате разгрузки техногенных стоков трех горнопромышленных систем Дальнегорского района, в р. Рудной наблюдается многократное превышение фоновых значений канцерогенных и элементов сульфидных руд. Техногенная система ЦОФ поставляет Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, и Pb, а в зоне влияния систем Бор и ЦОФ к ним добавляются превышения фона по As. ПДК_{рыб.хоз} в реке превышаются по Mn, Fe, Cu и Zn.

Кавалеровский район

В Кавалеровском районе главным водосбором является р. Зеркальная общей протяженностью 83 км. Ее исток находится на восточном склоне осевого хребта гор Сихотэ-Алиня, а устье – в б. Зеркальной Японского

моря. На территории Кавалеровского района в нее впадают загрязняемые тремя техногенными системами реки (см. рис. 18.2 и 18.3): из системы пос. Рудный – р. Партизанка, пгт. Хрустальный – р. Хрустальная и р. Кавалеровка, а также с. Высокогорск – р. Высокогорская (водозабор пгт. Кавалерово).

Техногенная система пос. Рудный

В техногенной системе пос. Рудный сброс рудничных вод происходит из закрытой шт. Капитальной (см. рис. 18.2, *точка 6*). Эти техногенные воды слабокислые-нейтральные, от 6,6 до 7,5, в них содержатся, мкг/л: Cr – 0,04–3,50, Mn – 3055,11–4206,38, Fe – 2,00–20,34, Cu – 4,84–79,89, Zn – 460,89–1971,14, As – 0,37–1,21, Cd – 1,01–12,73, Pb – 0,03–3,75.

Для мониторинга р. Партизанки выбраны две точки: выше и ниже хвостохранилища (см. рис. 18.2, *точки 7 и 8*). Выше хвостохранилища pH составляет 6,4–7,7, содержание элементов достигает, мкг/л: Cr – до 0,17, Mn – 4,24, Fe – 5,85, Cu – 8,37, Zn – 67,88, As – 5,52, Cd – 0,35 и Pb – 0,65. Ниже хвостохранилища водородный показатель аналогичен, но содержание элементов возрастает и достигает, мкг/л: Cr – 0,54, Mn – 7,70, Fe – 56,81, Cu – 6,76, Zn – 288,58, As – 4,63, Cd – 0,12 и Pb – 0,76. Таким образом, ниже хвостохранилища содержание Cr возрастает в 3, Fe – 10, Zn – 4 и Pb в 1,2 раза, а ПДК_{рыб.хоз} по Fe в 1,1, Cu – 6,8 и Zn в 29 раз.

Техногенная система пгт. Хрустальный

Техногенная система пгт. Хрустальный представлена тремя безнадзорными хвостохранилищами ХГОК (см. рис. 18.2, *точки 2–4*) и сбросом рудничных вод м. Хрустальное (*точка 6*), которые разгружаются в р. Хрустальной. Для мониторинга природных вод выбраны фоновые точки на р. Кавалеровке выше (*точка 9*) и ниже указанных объектов (*точка 10*).

Воды в фоновой точке р. Кавалеровки (см. рис. 18.2, *точка 9*) характеризуются как слабокислые-слабощелочные, от 6,5 до 8,2, содержат, мкг/л: Cr до 0,13, Mn – 1,35, Fe – 13,78, Cu – 7,11, Zn – 10,49, As – 1,88, Cd – 0,18 и Pb – 0,13. Необходимо отметить, что в данной точке превышает ПДК_{рыб.хоз} по Cu (до 7 раз) и Zn (однократно, до 1,1 раза), что, вероятно, связано с повышенными естественными геохимическими уровнями этих элементов в природных водах.

Рудничные воды м. Хрустальное (*точка 6*) нейтральные-слабощелочные – 7,1–8,2, содержат, мкг/л: Cr от 0,05 до 0,35, Mn – 118,46–421,14, Fe – 2,77–7,69, Cu – 1,87–11,53, Zn – 46,62–242,87, As – 0,36–0,58, Cd – 0,13–0,34 и Pb – 0,09–0,22.

Ниже объектов техногенной системы (см. рис. 18.2, *точка 10*) воды р. Кавалеровки характеризуются как слабокислые-нейтральные (6,31–7,32), содержание канцерогенных и основных элементов сульфидных руд в них достигает, мкг/л: Cr – 0,12, Mn – 11,13, Fe – 7,62, Cu – 6,21, Zn – 68,57, Cd – 0,34 и Pb – 0,18. Сравнение с фоновыми значениями показывает увеличение содержания Fe в 8, As – в 4 и Cd – в 1,6 раза; ПДК_{рыб.хоз} превышены по Mn в 1,1, Cu – в 6 и Zn – 7 раз.

Техногенная система с. Высокогорск

Третья техногенная система района – с. Высокогорск (см. рис. 18.3) – представлена безнадзорным хвостохранилищем одноименного рудника (*точка 1*). На объекте присутствует шламовое озеро; оно разгружается в кл. Ветвистый, который в дальнейшем протекает вдоль осыпающегося борта этого сооружения.

Ключ, в свою очередь, впадает в р. Высокогорскую, использующуюся для централизованного водоснабжения пгт. Кавалерово. Необходимо отметить, что воды кл. Ветвистого также применяются местным населением в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целях.

В качестве точек мониторинга для кл. Ветвистого выбрано две точки: выше (см. рис. 18.3, *точка 2*) и ниже (*точка 3*) хвостохранилища по течению. Первая точка характеризуется слабокислым-слабощелочным уровнем pH (6,7–8,0) и содержанием канцерогенных и элементов сульфидных руд до, мкг/л: Cr – 0,16, Mn – 3,80, Fe – 7,06, Cu – 6,57, Zn – 8,53, As – 1,64, Cd – 0,08 и Pb – 0,24. Здесь отмечается естественное превышение ПДК_{рыб.хоз} по Cu до 6,5 раза.

Шламовые воды хвостохранилища слабокислые-слабощелочные (5,4–8,0), содержат, мкг/л: Cr – 0,07–0,42, Mn – 3,53–20,87, Fe – 1,76–10,52, Cu – 2,11–25,56, Zn – 5,33–43,18, As – 0,64–2,42, Cd – 0,04–0,24 и Pb – 0,06–0,19.

В точке ниже хвостохранилища (см. рис. 18.3, *точка 3*) водородный показатель составляет 6,3–7,9 при концентрации элементов до, мкг/л: Cr – 0,38, Mn – 271,89, Fe – 66,59, Cu – 43,41, Zn – 156,48, As – 0,59, Cd – 0,62 и Pb – 0,36. Эти значения превышают фоновые по Cr до 3, Mn – 5, Fe 1,5, Cu – 4, Zn – 5, As – 1,5, Cd до 3 раз; ПДК_{рыб.хоз} превышает по Mn до 27, Fe – 1,3, Cu – 43 и Zn до 16 раз, а ПДК_{хоз.пит.-культ.быт} по Mn до 2,7 раза.

Таким образом, все рассмотренные техногенные системы Кавалеровского района являются источниками поступления канцерогенных и элементов сульфидных руд в природные поверхностные воды. Наибольшую нагрузку получает кл. Ветвистый в с. Высокогорск. Здесь фоновые концентрации по Cr превышаются до 3, Mn – 5, Fe 1,5, Cu – 4, Zn – 5, As – 1,5, Cd в 3 раза, ПДК_{рыб.хоз} по Mn до 27, Fe – 1,3, Cu – 43 и Zn до 16 раз, а ПДК_{хоз.пит.-культ.быт} по Mn до 2,7 раза.

Оценка рисков для здоровья населения

Поскольку воды кл. Ветвистого в с. Высокогорск используются местным населением в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целях, на основании усредненных концентраций канцерогенных элементов (Cd, As, Cr и Pb) в точке отбора проб после хвостохранилища для случаев перорального потребления воды по формулам (18.1) – (18.3) был произведен расчет и оценены риски для здоровья населения.

В таблице 18.1 для рассматриваемых элементов приведены значения фактора потенциала риска SF, мг/(кг·день)⁻¹.

Таблица 18.1

Сведения о показателях опасности развития канцерогенных эффектов

Вещество	Классификационный номер	Пероральное поступление		
	CAS	МАИР	ЕРА	SF, мг/(кг·день) ⁻¹
Cd	7440-43-9	1	B1	0,38
As	7440-38-2	1	A	1,5
Cr	18540-29-9	1	A	0,42
Pb	7439-92-1	2A	B2	0,047

В таблице 18.2 приведены рассчитанные значения среднесуточной дозы поступления ($LADD_i$), значения канцерогенных рисков ($Risk_i$) и суммарное значение канцерогенного риска ($\sum Risk$), а также представлен вклад каждого отдельного канцерогена.

Полученное значение суммарного канцерогена составляет $2,35 \cdot 10^{-5}$; относится ко второму диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни – более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$), что соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Данный уровень подлежит постоянному контролю; возможна реализация дополнительных мероприятий по его снижению. Наибольший вклад в суммарное значение канцерогенного риска вносят мышьяк (64%) и кадмий (30%).

Таблица 18.2

**Канцерогенный риск от воздействия химических веществ,
содержащихся в питьевой воде**

Вещество	$LADD_i$, мг/день	$Risk_i$	Вклад, %
Cd	0,0000 014	$6,9 \cdot 10^{-6}$	30
As	0,0000 192	$1,51 \cdot 10^{-5}$	64
Cr	0,0000 037	$1,2 \cdot 10^{-6}$	5
Pb	0,0000 021	$3,0 \cdot 10^{-7}$	1
$\sum Risk$	–	$2,3 \cdot 10^{-5}$	100

Заключение

Проведенные в 2018–2021 гг. мониторинговые работы показали, что в результате разгрузки техногенных стоков трех горнопромышленных систем Дальнегорского района в р. Рудной наблюдаются многократные превышения фоновых значений канцерогенных, элементов сульфидных руд и марганца. Техногенная система КОФ поставляет Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, и Pb, а в зоне влияния систем Бор и ЦОФ к ним добавляется превышение фона по As. ПДК_{рыб.хоз} здесь превышаются по Mn до 55, Fe – 5, Cu – 4 и Zn до 14 раз, при этом в период с 2001 по 2011 г. максимальные превышения были ниже: по Zn в 19, Pb – 2, Fe – 5 и Mn в 2 раза.

В Кавалеровском районе наибольшую техногенную нагрузку получает кл. Ветвистый в с. Высокогорск, который используется местными жителями в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целях. Фоновые концентрации здесь превышаются по Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As и Cd, ПДК_{рыб.хоз} – по Mn до 27, Fe – 1,3, Cu – 43 и Zn до 16 раз, а ПДК_{хоз.пит.-культ.быт} по Mn до 2,7 раза.

Рассчитанное значение суммарного канцерогенного риска для здоровья населения при потреблении воды кл. Ветвистого в качестве питьевой составляет $2,35 \cdot 10^{-5}$; относится ко второму диапазону, что соответствуют предельно допустимому риску – верхней границе приемлемого риска. Данный уровень подлежит постоянному контролю; возможна реализация дополнительных мероприятий по его снижению.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Список использованных источников

1. Sidorenko, A.V. Some problems of the geochemistry of the supergene zone / A.V. Sidorenko, K.I. Lukashev // *International Geology Review*. – 1971. – Vol. 13, no. 12. – P. 1820–1828.
2. Banks, D. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly / D. Banks, P.L. Younger, R.T. Arnesen [et al.] // *Environmental Geology*. – 1997. – Vol. 32, no. 3. – P. 157–174.
3. Nordstrom, D.K. Geochemistry of acid mine waters / D.K. Nordstrom, C.N. Alpers // *The environmental geochemistry of mineral deposits*. – Littleton: Society of Economic Geologists, 1999. – P. 133–160.
4. Moncur, M.C. Release, transport and attenuation of metals from an old tailings impoundment / M.C. Moncur, C.J. Ptacek, D.W. Blowes [et al.] // *Applied geochemistry*. – 2005. – Vol. 20, no. 3. – P. 639–659.
5. Lindsay, M.B. Geochemical and mineralogical aspects of sulfide mine tailings / M.B. Lindsay, M.C. Moncur, J.G. Bain [et al.] // *Applied geochemistry*. – 2015. – Vol. 57. – P. 157–177.
6. Sharma, M.K. Sulphate contamination in groundwater and its remediation: an overview / M.K. Sharma, M. Kumar // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2020. – Vol. 192, no. 2. – P. 1–10.
7. Зверева, В.П. Техногенные воды Комсомольского, Кавалеровского и Дальнегорского горнорудных районов Дальнего Востока и их воздействие на гидросферу / В.П. Зверева, Л.Т. Крупская // *Экологическая химия*. – 2012. – Т. 21, № 3. – С. 144–153.
8. Zvereva, V.P. Estimation of Effect of Technogenic Discharges on Hydrosphere in Dalnegorsk District of the Far East / V.P. Zvereva, L.T. Krupskaya, E.N. Salyukova // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 260, 261. – P. 825–832.
9. Шулькин, В.М. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем / В.М. Шулькин, Е.Н. Чернова, Н.К. Христофорова, С.И. Коженкова // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. – 2014. – Т. 6. – С. 483–494.
10. Зверева, В.П. Оценка воздействия техногенных вод Кавалеровского и Дальнегорского горнорудных районов на гидросферу Приморского края / В.П. Зверева // *Экологическая химия*. – 2019. – Т. 28, № 4. – С. 199–210.
11. Frolov, K.R. A Study of the qualitative chemical composition of technogenic waters in the tailing dumps of the Russian Southern Far East in a wide temperature range using the physicochemical modeling method / K.R. Frolov, A.I. Lysenko, A.D. Pyatakov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 272, no. 2. – P. 022124.
12. Frolov, K.R. Risk Assessment on Human Health: the Case of Primorsky Krai Abandoned Sulfide-Rich Tailings Dump / K.R. Frolov, M.I. Artemova, O.A. Ponomarev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 666, no. 3. – P. 032017.
13. Lee, S.W. Human risk assessment for heavy metals and as contamination in the abandoned metal mine areas, Korea / S.W. Lee, B.T. Lee, J.Y. Kim [et al.] // *Environmental monitoring and assessment*. – 2006. – Vol. 119, no. 1. – P. 233–244.
14. Ngole-Jeme, V.M. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil / V.M. Ngole-Jeme, P. Fantke // *PloS one*. – 2017. – Vol. 12, no. 2. – P. e0172517.

15. Kan, X. Contamination and health risk assessment of heavy metals in China's lead-zinc mine tailings: A meta-analysis / X. Kan, Y. Dong, L. Feng [et al.] – 10.1016/j.chemosphere.2020.128909 // Chemosphere. – 2021. – Vol. 267. – P. 128909.

16. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Приказ «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». – Москва: Минсельхоз России, 2016. – 78 с. – (Приказ от 13 декабря 2016 г. № 552).

17. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва: Кодекс, 2021. – 469 с. – (Постановление от 28 января 2021 года № 2).

18. Р.2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

Информация об авторах

Фролов Константин Русланович, канд. хим. наук, доцент департамента нефтегазовых технологий и нефтехимии, Политехнический институт Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); доцент департамента ядерных технологий, Институт наукоемких технологий и перспективных материалов, ДВФУ. E-mail: frolov.kr@dvfu.ru konstantin.fk@gmail.com

Артемова Мария Игоревна, магистрант, департамент нефтегазовых технологий и нефтехимии, Политехнический институт, ДВФУ. E-mail: mariafeoktistova@mail.ru

Чешкин Андрей Евгеньевич, магистрант, департамент нефтегазовых технологий и нефтехимии, Политехнический институт, ДВФУ. E-mail: cheshkin.ae@students.dvfu.ru

Артемов Павел Максимович, аспирант, департамент ядерных технологий, Институт наукоемких технологий и перспективных материалов, ДВФУ. E-mail: artemov.pm@dvfu.ru

Section II. MODERN ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Chapter 18. ENVIRONMENTAL MONITORING OF NATURAL WATERS IN THE ZONE OF PRIMORSKY KRAI MINING TECHNOGENIC SYSTEMS IMPACT

Konstantin R. Frolov^{1,2}, Maria I. Artemova², Andrey E. Cheshkin¹, Pavel M. Artemov²

Abstract. Based on the results of natural waters and technogenic discharges environmental monitoring in Dalnegorsk and Kavalеровsk districts of Primorsky Krai the negative impact of mining systems on the hydrochemical composition of rivers for fishery, household-

¹ Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Institute of High Technologies and Advanced Materials, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

drinking and cultural-domestic purposes has been revealed. The content of carcinogenic and sulfide ore elements (Cr, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb), and manganese exceeds the background and maximum permissible values for many times. Calculation and risk assessment according to the Russian Ministry of Health Manual R.2.1.10.1920-04 shows that the total carcinogenic risk to public health from Vetvisty creek water consumption is $2.35 \cdot 10^{-5}$ and corresponds to the maximum allowable value – the upper limit of acceptable risk.

Keywords: Primorsky Krai; mining technogenic systems; environmental monitoring; carcinogenic risks.

Information about authors

Konstantin R. Frolov, PhD, associate professor, Department of Oil, Gas and Petrochemical Industry, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University (FEFU); associate professor, Department of Nuclear Technologies, Institute of High Technologies and Advanced Materials, FEFU. E-mail: frolov.kr@dvfu.ru konstantin.fk@gmail.com

Maria I. Artemova, Master's student, Department of Oil, Gas and Petrochemistry, Polytechnic Institute, FEFU. E-mail: mariafeoktistova@mail.ru

Andrey E. Cheshkin, Master's student, Department of Oil, Gas and Petrochemistry, Polytechnic Institute, FEFU. E-mail: cheshkin.ae@students.dvfu.ru

Pavel M. Artemov, Postgraduate student, Department of Nuclear Technologies, Institute of High Technologies and Advanced Materials, FEFU. E-mail: artemov.pm@dvfu.ru

Раздел III. НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Глава 19. СОЗДАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БОРОСИЛИКАТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕГИОНЕ

Г.Ф. Крысенко¹, Д.Г. Эпов¹, Е.Э. Дмитриева¹, М.А. Медков¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-205-217>

Аннотация. Приведены результаты исследования взаимодействия боросиликатного минерального сырья с гидродифторидом аммония и сульфатом аммония. Установлено, что фторирование гидродифторидом аммония протекает в температурном интервале 100–150 °С с образованием комплексных фтораммониевых солей бора, кремния и металлов-примесей, взаимодействие основных компонентов сырья с сульфатом аммония начинается при достижении температуры термического разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \sim 300^\circ\text{C}$ и с наибольшей скоростью протекает в температурном интервале 340–365 °С с образованием борной кислоты и двойного сульфата кальция и аммония. Найдены условия для перевода в раствор основного количества бора и отделения его от сопутствующих компонентов в виде H_3BO_3 . Предложены замкнутая технологическая схема переработки боросиликатного минерального сырья гидродифторидом аммония и замкнутая схема переработки сульфатом аммония с получением товарных продуктов: фторобората аммония, борной кислоты, аморфного кремнезема и высококачественного плавикошпатового концентрата, что будет способствовать рациональному использованию минерального сырья и улучшению качества окружающей среды в регионе.

Ключевые слова: боросиликатное минеральное сырье; комплексная переработка; гидродифторид аммония; сульфат аммония.

В Приморском крае (г. Дальнегорске) находится крупнейшее в России месторождение бора, представленное в основном боросиликатным минералом датолитом [1]. Датолит – типичный минерал гидротермальной стадии некоторых скарнов. Название произошло от греческого «датеомаи» – делю, «литос» – камень, что связано с зернистым видом его массивных выделений. Датолитовое оруденение Дальнегорского месторождения отнесено к скарнам, замещающим известняки верхнего триаса [2]. На месторождении можно выделить несколько генераций датолита. Наиболее ранняя генерация, датолит I (свыше 320 °С), принимает участие в строении полосчатых и концентрически-зональных

¹ Институт химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

скарнов, когда полосы датолита перемежаются с полосами геденбергита или волластонита. Датолит II (290–320 °С) цементирует раздробленные полосчатые и концентрически-зональные скарны датолит-геденбергитового и датолит-волластонитового состава. Изредка встречается датолит III (250–290 °С), пересекающий датолит II в виде тонких невыдержанных жилок. Кроме трех перечисленных генераций датолита обнаружена радиально-лучистая разновидность датолита – ботриолит (более 100 °С), являющаяся, вероятно, наиболее поздней низкотемпературной формой выделения этого минерала. Таким образом, боросиликатная минерализация на месторождении Дальнегорска преимущественно датолитовая, но значительно развит также аксинит. В таблицах 19.1 и 19.2 приведены минералогический и химический составы Дальнегорского боросиликатного месторождения (согласно паспорту 1985 г. на месторождение).

Таблица 19.1

Минералогический состав руды Дальнегорского боросиликатного месторождения

Наименование минералов	Содержание, масс. %
Датолит	46
Кальцит	12
Кварц	14
Гранат андрадит-гроссулярного ряда	15
Пероксен диопсид-геденбергитового ряда	8
Волластонит марганцево-железистый	2
Вторичные минералы (гизингерит)	3

Таблица 19.2

Химический состав руды Дальнегорского боросиликатного месторождения

Компонент	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	Na ₂ O+K ₂ O	CO ₂	CaCO ₃
Среднее содержание, масс. %	8,70	40,65	1,91	3,85	31,27	0,81	0,34	6,19	14,37

Дальнегорское месторождение разрабатывает горно-химическая компания «Бор» (ГХК «Бор»), которая выполняет подготовку добытой рудной массы к обогащению самым упрощенным способом – усреднением и занимается химической переработкой полученного концентрата.

Практика работы обогатительных фабрик показывает значительное влияние усредненной руды на качественные показатели обогащения (рост извлечения и качество концентратов). Поэтому фабрики накладывают жесткие ограничения на регулируемые показатели качества минерального сырья и тем самым оказывают большое влияние на величину вовлекаемых в переработку запасов и выбор систем разработки, что отрицательно влияет на окружающую среду месторождения. Например, в 2014 г. при переработке 800 тыс. т датолитовой руды на

Дальнегорском месторождении получено 300 тыс. т датолитового концентрата, остальное ушло в отвалы. При этом содержание бора в полученном концентрате только в два раза превышало содержание бора в исходной руде. Расширить возможности добывающего предприятия по уменьшению отвалов можно, например, с помощью переработки непосредственно борсодержащей руды, минуя стадию получения концентрата.

В настоящее время ГХК выпускает в основном только борную кислоту, немного кремнезема и бората кальция. Химическую переработку полученного датолитового концентрата здесь проводят по сернокислотной технологии с выделением бора в виде борной кислоты. С целью получения кремнезема кремнеземсодержащее сырье обрабатывают серной кислотой с концентрацией 5–19 % до образования пульпы. Полученную пульпу разделяют на осадок и раствор; из выделенного из пульпы раствора осаждают кремнезем. Осажденный кремнезем промывают и сушат. Раствор перерабатывают до получения производных амфотерных оксидов. При производстве на ГХК «Бор» 1 т борной кислоты (98,5 % H_3BO_3) расходуют 4,35 т датолитового концентрата (16 % B_2O_3), 2,4 т серной кислоты (100 %), 0,6 т известняка (100 % CaCO_3), ~130 м³ воды и 800 кВт/ч электроэнергии. При этом количество сухого остатка в отвал достигает 6,1 т. Поэтому для улучшения качества окружающей среды на Дальнегорском месторождении необходима разработка новых способов комплексной переработки борсодержащего минерального сырья с извлечением всех компонентов сырья в виде товарных продуктов и, гарантирующих снижение количества отходов, представляющих опасность для природы и здоровья человека [3].

Материалы и методы

В качестве образцов для исследования была выбрана партия руды Дальнегорского боросиликатного месторождения. В качестве реагента для вскрытия использовали гидрофторид аммония NH_4HF_2 марки «х.ч.» или сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ марки «х.ч.».

Для изучения возможности взаимодействия образцы руды смешивали с реагентом, полученную смесь растирали в агатовой ступке и в стеклоуглеродных тиглях с крышкой помещали в муфельную печь-контроллер фирмы Nabertherm GmbH (Германия), оснащенную электронным регулятором с цифровым дисплеем, нагревали со скоростью 2,5–5 град/мин до заданной температуры и выдерживали при этой температуре в течение 3–5 ч. Навески составляли 20–50 г.

Изменения, происходящие с образцом при нагревании, контролировали по убыли массы исходной смеси, рентгенофазовому и рентгенофлуоресцентному анализам полученных в процессе обработки продуктов и методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрометр Solaar 6 M) растворов выщелачивания полученных продуктов по аналитическим линиям элементов.

Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D-8 ADVANCE с вращением образца в $\text{Cu K}\alpha$ -излучении. Рентгенофазовый анализ проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Содержание основных компонентов фракций на различных стадиях переработки определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием спектрометра Shimadzu EDX 800 HS (трубка с родиевым анодом, вакуум) при комнатной температуре в виде таблетки с политетрафторэтиленом.

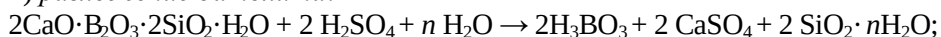
Термогравиметрические исследования выполнены на дериватографе Q-1000 в платиновых тиглях с крышкой при скорости нагревания 2,5 и 5 град/мин и навесках 100–200 мг.

Способы переработки борсодержащего минерального сырья

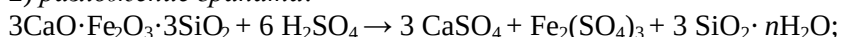
В научной литературе описано несколько способов переработки борсодержащего сырья: переработка природных боратов путем спекания с NaOH или путем разложения щавелевой кислотой при нагревании [4, 5]; уксуснокислотное разложение данбуритового концентрата [6] и др. Однако датолитовый концентрат в настоящее время в основном перерабатывают концентрированной серной кислотой с последующей кристаллизацией борной кислоты [7].

А. Сернокислотное разложение. Процесс разложения датолитового концентрата серной кислотой можно представить следующими реакциями:

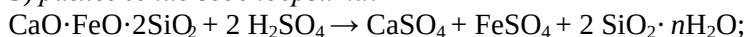
1) *разложение датолита:*



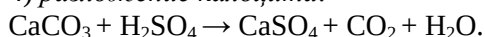
2) *разложение граната:*



3) *разложение геденбергита:*



4) *разложение кальцита:*



Следует отметить, что сопутствующие минералы взаимодействуют с серной кислотой медленнее датолита и разлагаются лишь частично (гранат на 12–20 %, геденбергит на 2–4 %, кальцит на ~50 %). Поэтому применение серной кислоты для переработки борсодержащего сырья приводит к значительным количествам отходов производства в виде борогипса, состоящего в основном из двухводного гипса (до 76 %) и кремнезема (до 21 %). Эти отходы содержат токсичные вещества и представляют опасность для природы и здоровья человека, поэтому проблеме утилизации и переработки борогипсовых отходов уделяют большое внимание.

Один из самых перспективных подходов к проблеме переработки борогипсовых отходов – это разработка и внедрение на сернокислотном производстве технологий получения из этих отходов гипсовых вяжущих материалов, востребованных строительными производствами. Этот подход позволит значительно сократить загрязнение почвы и воздуха, водоемов и подземных вод. Однако несмотря на то, что технологии переработки непрерывно развиваются и все больше предприятий в той или иной степени внедряют их в свое производство, переработка и повторное использование борогипсовых отходов в качестве строительных вяжущих материалов еще не нашли достаточно широкого применения и около сернокислотных заводов продолжают скапливаться миллионы тонн шлама борогипса.

Б. Гидродифторидное разложение. Расширить возможности перерабатывающих предприятий по вовлечению в освоение более бедного сырья и снижению количества отходов на месторождении можно с помощью разработки технологии переработки минерального сырья, минуя стадию получения концентрата. В связи с этим авторами было изучено взаимодействие датолитовой руды, датолитового концентрата и отходов датолитового производства с гидродифторидом аммония, представляющим собой кристаллический фторирующий агент, с целью вскрытия такого вида минерального сырья этим реагентом и нахождения путей разделения бора и кремния при таком способе переработки [8, 9].

Проведенное исследование показало, что использование гидрофторида аммония для вскрытия борсодержащего минерального сырья не накладывает жесткие ограничения на качество минерального сырья, позволяет в температурном интервале 100–150 °С полностью вскрыть минеральное сырье с образованием комплексных фтораммониевых солей бора и кремния и фторида кальция и осуществлять комплексную переработку минерального сырья без предварительного получения концентрата. Был разработан способ технологического вскрытия датолитового сырья гидрофторидом аммония при температуре 150 °С с предварительным фторированием при комнатной температуре присутствующего в руде карбоната кальция и предложена замкнутая технологическая схема переработки датолитовой руды гидрофторидом аммония с получением товарных продуктов: фторобората аммония, кремнефторида аммония, аморфного кремнезема с содержанием основного компонента 99,95 % и развитой удельной поверхностью, равной 270 м²/г, плавиковошпатового концентрата и охры (рис. 19.1). Нелетучий остаток, полученный при отгонке $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ и NH_4BF_4 из профторированного борсодержащего сырья, представляет собой 95%-й флюоритовый концентрат, содержащий 3,4 % FeF_3 , 0,9 % MnF_2 и 0,6 % AlF_3 . В предлагаемой схеме минимизировано количество отходов, а реагенты, с помощью которых производят химический передел, подвергаются полной регенерации и возврату в производство.

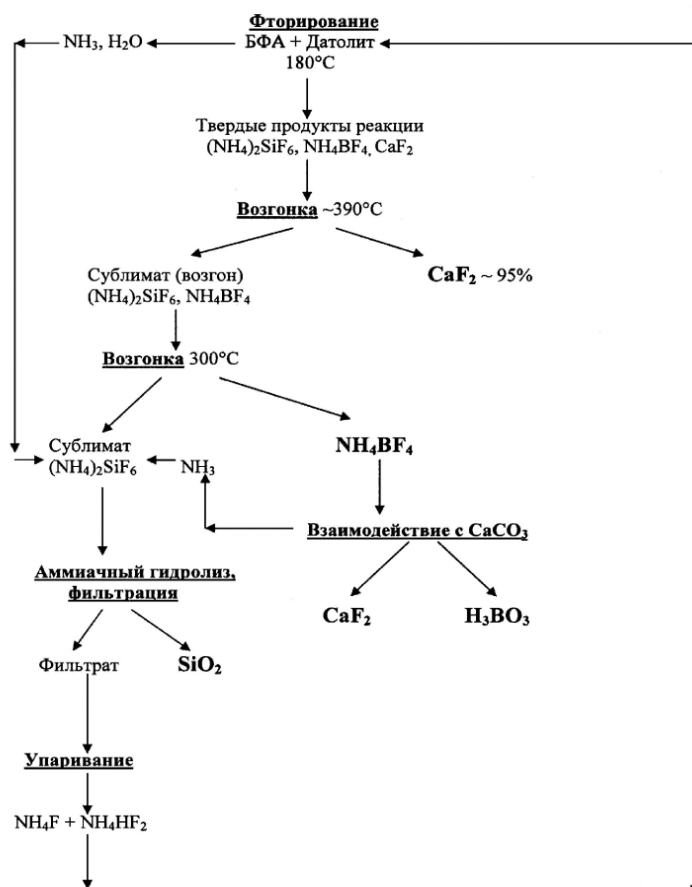


Рис. 19.1. Принципиальная технологическая схема переработки датолитового минерального сырья гидрофторидом аммония с получением товарных продуктов

Таким образом, в то время как использование сернокислотной технологии переработки боросиликатного минерального сырья приводит к существенному загрязнению окружающей среды, поскольку ежегодно сбрасываются сотни тысяч тонн сульфатсодержащих отходов и кислых промывных вод, гидрофторидная технология позволяет минимизировать их количество и создать циклическое производство. Однако следует учесть, что гидрофторид аммония является относительно дорогим реагентом, поэтому представляло интерес исследование возможности замены при сернокислотном вскрытии борсодержащего минерального сырья жидкого сульфатирующего реагента твердым, в частности сульфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

В. Вскрытие сульфатом аммония. Сульфат аммония относительно дешевый реагент. Он широко применяется в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения, в пищевой промышленности в качестве эмульгатора и стабилизатора в производстве продуктов питания, в химической промышленности $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в производстве вискозного волокна, служит компонентом для порошковых огнетушителей и огнезащитных средств, используется в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения в качестве реагента для обработки воды, в стекольной промышленности в качестве добавки к стекольной шихте для улучшения ее плавкости, в биохимии для очистки белков и пептидов и т.д.

Из справочной литературы [10] известно, что сульфат аммония при нагревании при температуре выше 235°C разлагается с выделением аммиака NH_3 и образованием сначала гидросульфата аммония NH_4HSO_4



который при температуре 251°C плавится, а при повышении температуры выше 500°C кипит с разложением на серный ангидрид, аммиак и воду:



В работе [11] при изучении термического поведения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и твердого продукта его термического разложения – NH_4HSO_4 установлено, что температурные интервалы эффектов зависят от условий проведения термической обработки (массы образца, статистической или динамической атмосферы, скорости нагрева и т.д.). Поэтому выполнено термогравиметрическое исследование термического поведения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при нагревании в условиях (атмосфера, скорость нагрева), приближенных к условиям проведения взаимодействия минерального сырья с этим реагентом. Исследование показало, что при нагревании образца $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ со скоростью 5 град/мин на воздухе разложение соли начинается около температуры 300°C с выделением тепла и заканчивается эндотермическим эффектом при температуре $\sim 415^\circ\text{C}$ с практически полным переходом соединения в газовую фазу. Продукт, выделенный при температуре 340°C , по данным рентгенофазового анализа представляет собой NH_4HSO_4 . При нагревании $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ выше температуры 340°C наблюдается выделение в газовую фазу серного ангидрида. Таким образом, термическое поведение сульфата аммония позволяет предположить, что в температурном интервале $300\text{--}400^\circ\text{C}$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ может проявлять сульфатирующие свойства и быть перспективным реагентом для вскрытия минерального сырья. Подтверждением этому является и ряд работ

в научной литературе по изучению возможности использования сульфата аммония для вскрытия отдельных видов минерального сырья, например вольфрамсодержащего [12] и ильменитового сырья [13].

В настоящей работе для исследований выбрана партия датолитового концентрата и датолитовой руды Дальнегорского боросиликатного месторождения. Исследуемые образцы по данным рентгенофазового анализа были представлены преимущественно датолитом $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$, кальцитом CaCO_3 , кварцем SiO_2 и минералом андрадитом $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$.

Термогравиметрическое исследование смеси датолитовой руды и сульфата аммония показало (рис. 19.2), что при достижении температуры $\sim 250^\circ\text{C}$ начинается убыль массы смеси. Экспериментально установлено выделение в газовую фазу аммиака при этой температуре.

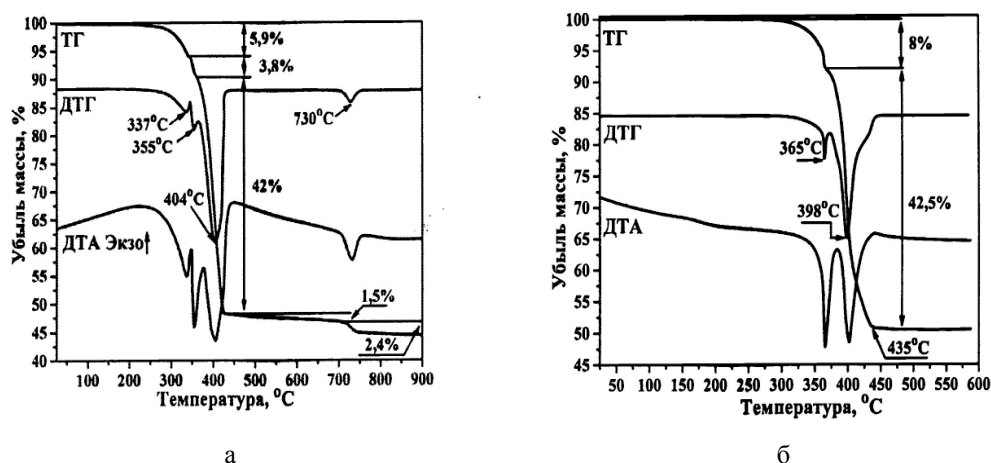


Рис. 19.2. Термогравиметрический анализ смеси датолитового концентрата с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: а – скорость нагрева 5 град/мин; б – скорость нагрева 2,5 град/мин

Исследование показало, что изменение массового соотношения «руда: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ » не влияет на характер и число наблюдаемых на термограмме эффектов, но с увеличением количества взятого реагента температуры эффектов на $10\text{--}20^\circ\text{C}$ сдвигаются в более низкую область, что, скорее всего, связано с падением скорости реакции и увеличением времени протекания процесса вследствие уменьшения величины поверхности соприкосновения реагирующих частиц. Увеличение скорости нагрева от 2,5 до 5 град/мин и выше приводит к увеличению количества фиксируемых на термограмме эффектов с двух до трех. Так, при нагревании шихты со скоростью 5 град/мин наблюдается три эндотермических эффекта: при $270\text{--}340$, $340\text{--}365$ и $365\text{--}420^\circ\text{C}$ (см. рис. 19.2а), а при нагревании со скоростью 2,5 град/мин только два эффекта: при $340\text{--}365$ и $365\text{--}420^\circ\text{C}$ (см. рис. 19.2б).

Для установления природы процессов, протекающих в указанных температурных интервалах, исследуемые образцы смеси борсодержащего минерального сырья и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в стеклоуглеродных тиглях с крышкой помещали в муфельную печь-контроллер, нагревали с определенной скоростью до заданной температуры, выдерживали при этой температуре в течение 2 ч и анализировали полученный продукт.

Исследование показало, что продукт, полученный при температуре 295 °С, согласно данным рентгенофазового анализа представляет собой смесь исходного датолита $\text{CaB}(\text{SiO}_4)\text{OH}$, двойного сульфата состава $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ и кислых сульфатов аммония NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$. Отсутствие в продуктах реакции новых соединений бора указывает на то, что образование двойного сульфата аммония и кальция обусловлено взаимодействием с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ не датолита, а сопутствующего карбоната кальция. Это позволяет первый эндотермический эффект на термограмме при скорости нагрева 5 град/мин отнести к процессу образования гидросульфата аммония NH_4HSO_4 , его плавлению и последующему взаимодействию с сопутствующим карбонатом кальция. Отсутствие данного эффекта на термограмме при скорости нагрева 2,5 град/мин авторы связывают с количеством NH_4HSO_4 , образующегося в этих условиях. При малой скорости нагрева весь NH_4HSO_4 успевает вступить в реакцию, и нет избыточного NH_4HSO_4 , претерпевающего плавление в данных условиях.

Дальнейшее повышение температуры сопровождается выделением белого дыма, который оседает в конденсаторе в виде порошка белого цвета и по данным рентгенофазового анализа представляет собой $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Этот факт указывает на необходимость использования избытка $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при проведении реакций с данным реагентом при таких температурах и на возможность отбора избытка реагента в виде возгона и возвращения его в цикл. Продукт, выделенный при температуре 340 °С, согласно данным рентгенофазового анализа представляет собой смесь NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{B}(\text{OH})_3$ и рентгеноаморфной составляющей. Таким образом, данные анализа полученного продукта позволяют эндотермический эффект при температуре 340–365 °С отнести к процессу взаимодействия датолита и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с образованием борной кислоты и двойного сульфата кальция и аммония:



Согласно приведенному уравнению стехиометрическое соотношение датолита к $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в массовом соотношении составляет 1:1,24; теоретическая убыль массы в результате протекающего взаимодействия обусловлена только переходом аммиака в газовую фазу; составляет 9,5 %. Однако наблюдаемая убыль массы всегда больше вследствие протекания наряду с указанным взаимодействием и процесса термического разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Следует отметить, что присутствие борной кислоты в продуктах реакции наблюдается, начиная с температуры 310 °С, что свидетельствует о постепенном развитии реакции взаимодействия датолита с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Эндотермический эффект при 365–420 °С отнесен к процессу взаимодействия присутствующих в концентрате окислов железа с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с образованием двойного сульфата железа и аммония, процессу термического разложения двойного сульфата $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_2$ до сульфата кальция CaSO_4 и переходу в газовую фазу оставшегося избытка вскрывающего реагента. Эндотермический эффект при температуре 420–435 °С на термограмме при скорости нагрева 2,5 град/мин отнесен к термическому разложению присутствующего в продукте взаимодействия двойного сульфата железа и аммония до сульфата железа, при температуре 730 °С – к разложению сульфата железа до оксида.

С учетом свойств полученных соединений борную кислоту из продукта вскрытия борсодержащего сырья $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ целесообразно извлекать путем вод-

ного выщелачивания. Процесс выщелачивания обработанных сульфатом аммония образцов проводили при температуре 95 °С путем растворения полученного продукта в воде при $T:Ж^1 = 1:5$ в течение 60 мин и последующего фильтрования через фильтр «синяя лента». Содержание бора, кальция и кремния в фильтратах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии и рассчитывали извлечение этих элементов в раствор. В таблице 19.3 приведены результаты расчета степени извлечения в раствор основных компонентов при водном выщелачивании продукта обработки даолитовой руды сульфатом аммония при различных температурах в течение 2 ч.

Таблица 19.3

Содержание основных компонентов сырья в растворах выщелачивания

Температура, °С	Убыль массы, %	Содержание, мг			Извлечение, %		
		B	Ca	Si	B	Ca	Si
290	4,5	40,37	94,02	143,83	35,1	18,9	43,4
320	11,8	53,36	106,95	190,89	46,4	21,5	57,6
340	13,5	81,99	131,08	263,46	71,3	26,6	79,5
360	16,0	82,80	80,82	249,88	72,0	16,4	75,4

Из таблицы 19.3 видно, что наибольшая степень извлечения бора наблюдается при вскрытии борсодержащего минерального сырья при температуре 340–360 °С. Соединения кальция и кремния при водном выщелачивании полученного продукта взаимодействия распределяются между жидкой и твердой фазами. Увеличение продолжительности обработки минерального сырья сульфатом аммония приводит к увеличению степени извлечения бора в раствор выщелачивания. Так, например, при увеличении продолжительности обработки при температуре 340 °С до 5 ч удается достичь степени извлечения бора 94 %.

На основании результатов проведенного исследования предложена принципиальная технологическая схема получения борной кислоты при вскрытии даолитового минерального сырья сульфатом аммония (рис. 19.3).

Следует отметить, что, несмотря на разную растворимость сульфата аммония (75,4 г/100 г) и борной кислоты (5,74 г/100 г), разделить их полностью при дробном осаждении не удастся и $(NH_4)_2SO_4$ частично выпадает в осадок вместе с H_3BO_3 . Поэтому проводили доочистку полученного фильтрата для удаления из раствора $(NH_4)_2SO_4$ и перевода соединений кальция и железа в нерастворимые формы при нагревании. После отделения осадка полученный фильтрат упаривали до начала кристаллизации борной кислоты. Выход H_3BO_3 составил ~80 %.

¹ T:Ж – это выражение для иллюстрации соотношения масс твердой фазы (Т) и жидкой фазы (Ж) в процессе выщелачивания твердого продукта какой-либо жидкостью.

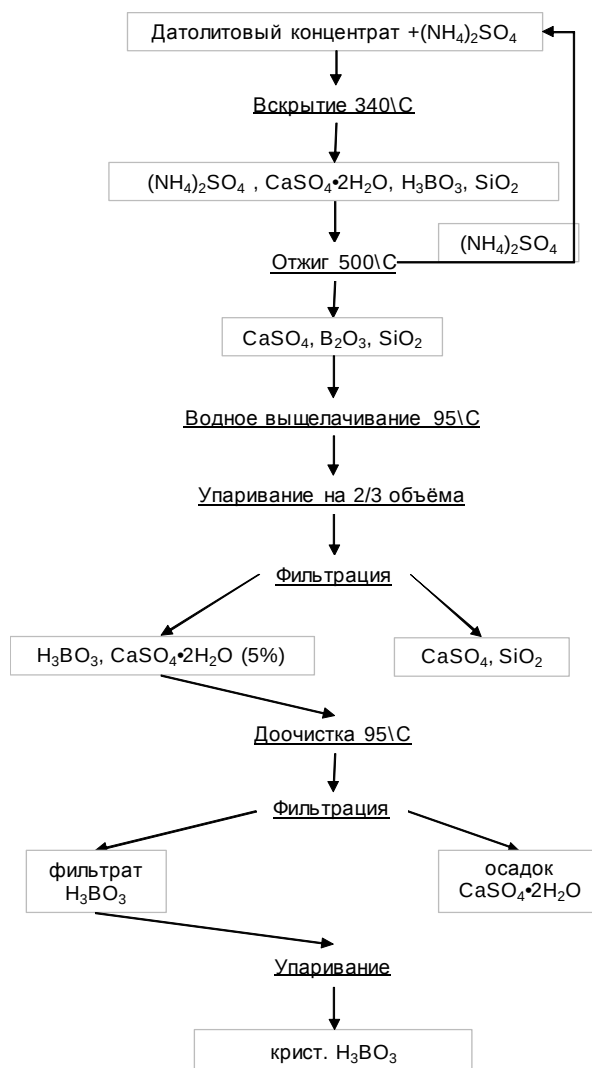


Рис. 19.3. Принципиальная технологическая схема получения борной кислоты при вскрытии борсодержащего минерального сырья сульфатом аммония

Заключение

Сернокислотная технология переработки борсодержащего минерального сырья, используемая в настоящее время на ГХК «Бор», накладывает жесткие ограничения на показатели качества используемых концентратов, таким образом оказывая большое влияние на величину вовлекаемых в переработку запасов на месторождении, что в совокупности приводит к значительным отходам при обогащении минерального сырья и химической переработке полученного концентрата.

В настоящей работе представлены два новых способа переработки датолитового минерального сырья Дальнегорского месторождения с извлечением всех компонентов в виде товарных продуктов, не накладывающих жестких ограничений на качество сырья и позволяющих осуществлять комплексную его переработку даже без предварительного получения концентрата: гидродифторидный способ и вскрытие сульфатом аммония. Оба предложенных способа позволяют реагенты, с помощью которых производят химический передел, полностью

регенерировать и возвращать в производство. Использование этих химических технологий для вскрытия борсодержащего минерального сырья позволит повысить эффективность работы перерабатывающего предприятия и улучшить качество окружающей среды на месторождении.

Благодарности. Авторы выражают благодарность научному сотруднику лаборатории рентгеноструктурного анализа Института химии ДВО РАН канд. хим. наук Гайворонской Ксении Анатольевне за проведение рентгенофазового анализа.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Горбов, А.Ф. Геохимия бора / А.Ф. Горбов. – Ленинград: Недра, 1976. – 207 с.
2. Куршакова, Л.Д. Физико-химические условия образования скарново-боросиликатных месторождений / Л.Д. Куршакова. – Москва: Наука, 1976. – 274 с.
3. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России / В.Ф. Протасов. – Москва: финансы и статистика, 2000. – 672 с.
4. Назаров, Ф.А. Спекательный способ переработки концентрата борсодержащей руды Таджикистана в присутствии едкого натрия / Ф.А. Назаров, А.С. Курбонов, Дж.Д. Джураев [и др.] // Доклады Академии наук республики Таджикистан. – 2017. – Т. 60, № 5-6. – С. 242–245.
5. Калачева, В.Г. Условия переработки боратов щавелевой кислотой / В.Г. Калачева, Н.А. Каражанов, Г.Е. Ким, Г.Г. Кац-Давид // Химическая промышленность. – 1980. – № 6. – С. 355, 356.
6. Курбонов, А.С. Уксуснокислотное разложение обожженного данбуритового концентрата / А.С. Курбонов, А.М. Баротов, З.Т. Якубов [и др.] // Доклады Академии наук республики Таджикистан. – 2014. – Т. 57, № 11-12. – С. 856–859.
7. Берлин, Л.Е. Производство борной кислоты, буры и борных удобрений / Л.Е. Берлин. – Москва: Госхимиздат, 1950. – С. 3.
8. Крысенко, Г.Ф. Извлечение бора и кремния при гидродифторидном вскрытии датолитового концентрата / Г.Ф. Крысенко, Д.Г. Эпов, М.А. Медков, Е.Б. Меркулов // Химическая технология. – 2010. – Т. 11, № 11. – С. 646–650.
9. Крысенко, Г.Ф. Комплексная переработка нетрадиционного титансодержащего минерального сырья по фторидной технологии / Г.Ф. Крысенко, Д.Г. Эпов, М.А. Медков, А.И. Николаев // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – Т. 460, № 2. – С. 26–32.
10. Новый справочник химика и технолога. Основные свойства неорганических, органических и элементоорганических соединений / редкол.: Н.К. Скворцов (гл. ред.) и др. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Мир и семья», 2002. – 1280 с.
11. Thege, I.K. DSC investigation of the thermal behavior of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HSO_4 and $\text{NH}_4\text{NH}_2\text{SO}_3$ / I.K. Thege // Thermochimica Acta. – 1983. – Vol. 60. – P. 149–159.
12. Иванов, И.М. Низкотемпературное вскрытие вольфрамсодержащего сырья / И.М. Иванов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 547–553.

13. Крысенко, Г.Ф. Разработка нового метода получения соединений титана из ильменитового минерального сырья / Г.Ф. Крысенко, Д.Г. Эпов, М.А. Медков // Химическая технология. – 2019. – Т. 20, № 14. – С. 1473–1479.

Информация об авторах

Крысенко Галина Филипповна, канд. хим. наук, научный сотрудник лаборатории переработки минерального сырья, Институт химии ДВО РАН. E-mail: krisenko@ich.dvo.ru, gfkrysenko@gmail.com

Эпов Дантий Григорьевич, канд. хим. наук, ведущий инженер-технолог лаборатории переработки минерального сырья, Институт химии ДВО РАН. E-mail: epov@ich.dvo.ru

Дмитриева Елена Эдуардовна, канд. хим. наук, научный сотрудник лаборатории переработки минерального сырья, Институт химии ДВО РАН. E-mail: eled@list.ru

Медков Михаил Азаревич, д-р хим. наук, профессор, заведующий лабораторией переработки минерального сырья, Институт химии ДВО РАН. E-mail: medkov@ich.dvo.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 19. CREATION OF CLOSED TECHNOLOGIES FOR COMPLEX PROCESSING OF BOROSILICATE MINERAL RAW MATERIALS AS A WAY TO IMPROVE ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE REGION

**Galina F. Krysenko¹, Dantiy G. Epov¹, Elena E. Dmitrieva¹,
Michail A. Medkov¹**

Abstract. The results of a study of the interaction of borosilicate mineral raw materials with ammonium hydrodifluoride and ammonium sulfate are presented. It has been established that fluorination with ammonium hydrodifluoride proceeds in the temperature range of 100–150 °C with the formation of complex fluoroammonium salts of boron, silicon and impurity metals, the interaction of the main components of the raw material with ammonium sulfate begins when the thermal decomposition temperature of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \sim 300^\circ\text{C}$ is reached and with the highest speed proceeds in the temperature range of 340–365 °C with the formation of boric acid and double sulfate of calcium and ammonium. Conditions for extracting the main amount of boron into solution and separating it from accompanying components in the form of H_3BO_3 was found. A closed technological scheme for the processing of borosilicate mineral raw materials with ammonium hydrodifluoride and a closed scheme for processing with ammonium sulfate with the obtaining of commercial products: ammonium fluoroborate, boric acid, amorphous silica, and high-quality fluorspar concentrate are proposed, which will contribute to the rational usage of mineral resources and improve the quality of the environment in the region.

Keywords: borosilicate mineral raw materials; complex processing; ammonium hydrodifluoride; ammonium sulfate.

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

Information about authors

Galina F. Krysenko, Ph. D., Researcher of the Laboratory of Mineral Raw Materials Processing, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: krisenko@ich.dvo.ru, gfkrysenko@gmail.com

Dantiy G. Epov, Ph. D., leading process engineer of the Laboratory of Mineral Raw Materials Processing, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: epov@ich.dvo.ru

Elena E. Dmitrieva, Ph. D., Researcher of the Laboratory of Mineral Raw Materials Processing, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: elled@list.ru

Michail A. Medkov, Dr. Sci., Professor, Head of the Laboratory of Mineral Raw Materials Processing, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: medkov@ich.dvo.ru

Глава 20. БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

В.В. Слесаренко¹, А.А. Юдаков¹, В.С. Власенко²

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-218-228>

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения биогазовых установок для утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий. Определены наиболее характерные преимущества использования биогазовой технологии для переработки отходов и получения энергетического сырья и удобрений. Детально представлены конструктивные особенности, технические характеристики и энергетические аспекты использования современных биогазовых установок. Рассмотрены принципы и методы управления технологическими процессами биогазовых установок.

Ключевые слова: биогаз; установка; схема; утилизация; отходы

В связи с ростом количества сельскохозяйственных предприятий животноводческого и птицеводческого направления в Приморском крае увеличивается объем отходов производства. Появление таких предприятий в системе ТОР Надеждинского, Уссурийского, Спасского, Хорольского, Ханкайского и других районов края сопровождается организацией специальных хранилищ для складирования отходов (навоза крупного рогатого скота, свиней и куриного помета). Увеличение массы отходов в хранилищах, размещаемых на рельефе, в основном в виде полужидкой фракции идет непрерывно без дальнейшей переработки.

Данный подход может привести к возникновению значительных экологических проблем: переполнению хранилищ (лагун) в период паводков и выносу токсичных отходов на близлежащие территории, в том числе в природные водоемы, росту количества опасных биологических объектов (микроорганизмов, комаров, мух и т.д.), загрязнению воздушного пространства газами, образующимися в массе отходов при их хранении.

Альтернативным решением проблемы утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий является использование биогазовых установок (БГУ).

Преимущества использования БГУ

Отходы, образующиеся при содержании крупного рогатого скота (КРС), свиней и птицы не являются удобрением. Для того чтобы отход в виде навоза стал удобрением, должен пройти длительный период времени, составляющий 6–7 месяцев и более. За время хранения при разложении отходы теряют часть питательных веществ, возникают проблемы при их открытом хранении в лагунах. Поэтому возникает потребность в их эффективной переработке. Биогазовая технология позволяет за короткий период получить с помощью анаэробного сбраживания натуральное удобрение, содержащее биологически активные вещества

¹ Институт химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

² Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

и микроэлементы. Обработка отходов в биогазовой установке снижает токсичность отходов и способствует существенному повышению качества получаемого биологического удобрения. При этом в выходном продукте из БГУ обеспечивается:

- сохранение и накопление азота: благодаря анаэробному сбраживанию в БГУ общий азот N в удобрении полностью сохраняется, кроме того, содержание растворимого азота $\text{NH}_4\text{-N}$ увеличивается на 10–15 %;
- возможность применения удобрения для любых видов сельскохозяйственных культур не только на крупных аграрных предприятиях, но и в частном секторе;
- очистка от семян сорняков: 99% семян, содержащихся в отходах, теряют всхожесть;
- защита продукта от патогенной микрофлоры: биологические удобрения, благодаря специальной технологии переработки в БГУ, полностью лишены патогенной микрофлоры.
- наполнение продукта активной микрофлорой: в БГУ достигается высокий уровень гумификации органического вещества, способствующий дальнейшей активации грунтовых микроорганизмов;
- возможность использования удобрений из БГУ непосредственно после их производства без промежуточного хранения в лагунах в течение длительного времени;
- необходимая концентрация удобрений в обработанной почве в течение 3–5 лет за счет локализации процесса вымывания полезных веществ;
- общее улучшение структуры почвы на сельскохозяйственных объектах при высокой экологической чистоте биологических удобрений из БГУ.

Биогазовая установка полностью заменяет специальные системы очистки, применяемые для переработки сельскохозяйственных отходов при небольших энергетических затратах. После обычных систем очистки отходы так и остаются отходами, после биогазовой установки это высококачественные удобрения. Процесс в БГУ происходит без доступа воздуха в герметичных метантенках-ферментаторах. Это обеспечивает снижение выбросов вредных газов, характерной особенностью которых является специфический неприятный запах. Продукт переработки после БГУ генерирует минимальные газовые выбросы в окружающую среду.

БГУ может быть подключена к очистным сооружениям для переработки стоков бытовой канализации сельскохозяйственных объектов.

Дополнительно в БГУ может быть получено значительное количество биогаза. Биогаз можно использовать как энергетическое топливо в котельных и когенерационных установках (КГУ) для выработки теплоты и электроэнергии.

В любом агрокомплексе, имеющем значительное количество КРС или большое поголовье свиней, применение БГУ для утилизации отходов будет экономически и социально оправдано. По имеющимся производственным данным БГУ является экономически эффективной для ферм с поголовьем от 300–400 дойных коров. Целесообразно устанавливать биогазовую установку на свиноводческих комплексах с годовым выходом не меньше 10 тысяч свиней [1–4].

Из одной тонны навоза КРС можно получить до 60 м^3 биогаза, из тонны свиного навоза – 65 м^3 . Теплота сгорания такого топлива превышает $20\,000 \text{ кДж/кг}$ [5–7].

Значительный экономический эффект возникает при строительстве новых сельскохозяйственных предприятий, оснащаемых БГУ. Использование биогаза из БГУ в когенерационных установках позволяет обеспечить собственные нужды агрокомплекса электрической и тепловой энергией, при этом уменьшаются капиталовложения в строительство дополнительных резервуаров (лагун) для отходов. Снижение капитальных затрат может составить 30–40 % от стоимости биогазовой установки и уменьшить срок ее окупаемости [4, 8].

Конструктивные особенности БГУ

Биогазовые установки, работающие на отходах ферм КРС и свиней, являются технологически самыми простыми; они получили широкое распространение во всем мире [9, 10]. Микроорганизмы, участвующие в процессе брожения в БГУ, обычно уже присутствуют в отходах жизнедеятельности животных, поэтому не нужно специальных методов биоактивации обрабатываемой среды, также нет надобности в реакторах гидролиза, использующихся в обычных системах переработки отходов.

Технические характеристики БГУ для переработки 150 т сельскохозяйственных отходов в сутки приведены в табл. 20.1.

Таблица 20.1

Технические характеристики биогазовой установки

№ п/п	Характеристики	Размерность	Значение
1	Производительность по сырью	т/сут	150
2	Выход биогаза	м ³ /сут	10 700
3	Потребляемая электрическая мощность на свои нужды	кВт	60
4	Потребляемая тепловая мощность (при –15 °С)	кВт	600
5	Потребляемая тепловая мощность (при –30 °С)	кВт	1080
6	Количество и объем реакторов	шт. (м ³)	3 (2400)
7	Обслуживающий персонал	человек	1
8	Занимаемая площадь	га	1,2
9	Выход твердых биоудобрений (70 % влажности)	т/сут	100
10	Выход жидких биоудобрений (99 % влажности)	т/сут	140

Оборудование БГУ конструируется в виде отдельных модулей, что позволяет наращивать мощность БГУ, если на предприятии возникает необходимость в увеличении поголовья. Кроме того, в БГУ для увеличения загрузки можно перерабатывать отходы соседних животноводческих комплексов, не имеющих таких установок. Группа небольших ферм имеет возможность инвестировать средства в БГУ, т.е. создать отдельное предприятие, которое будет перерабатывать отходы, доставляемые автомобильным транспортом. Рентабельность такого решения будет основана на дальнейшей реализации получаемого биологического удобрения.

ния и выработке электрической и тепловой энергии из биогаза в КГУ. При использовании биогазовой установки предприятия могут сократить объемы используемых для хранения отходов лагун в 2 раза. Соединения органики в навозе имеют коллоидную форму; они препятствуют испарению влаги из субстрата. В биогазовой установке количество органики уменьшается, а твердая масса после сбраживания сепарируется. В отсепарированной жидкой фракции после БГУ имеется минимальное количество органики, не вызывающей загрязнения окружающей среды. Жидкую фракцию из БГУ после фильтрования или отстаивания можно использовать на технологические цели предприятия, а также в качестве удобрения [11, 12].

Накопление отходов производится обычно в приемном резервуаре БГУ (рис. 20.1). В резервуаре происходит подогрев и тщательное перемешивание субстанции механическими мешалками. В приемный резервуар часто в смеси с навозом может подаваться отработанная подстилка, однако для уменьшения времени переработки следует использовать на фермах КРС подстилки, легко поддающиеся обработке в БГУ (сено, сенаж, отходы очистки зерновых культур и др.).

Подача сырья в метантэнк (реактор) происходит 8–12 раз в сутки по специальной программе, учитывающей режим работы БГУ, температурные факторы, количество и качество загружаемого субстрата. Система подачи биомассы в реактор БГУ может отличаться в зависимости от влажности обрабатываемого сырья: при высоком содержании влаги (85–98% жидкости) отходы закачиваются при помощи насосной станции (рис. 20.2); если же отходы более сухие (75–80% жидкости), то используется шнековый загрузчик (рис. 20.3). Сухой навоз также можно смешивать с жидким и подавать его насосным оборудованием.



Рис. 20.1. Резервуар предварительного накопления



Рис. 20.2. Насосная станция для подачи навоза в метантэнк

Все биореакторы БГУ можно разделить на три группы по температурному режиму обработки биомассы:

- при психрофильном режиме среда имеет температуру до 25 °С;
- при мезофильном режиме температурный диапазон составляет 25–45 °С;
- термофильный режим наступает при температуре более 45 °С.

При психрофильном и мезофильном режиме скорость протекания реакции, то есть скорость переработки биомассы, небольшая. Активное образование газов в метантэнке начинается лишь через 30–80 дней после загрузки. Поэтому большее распространение получили БГУ с реакторами, эксплуатируемыми при термофильном режиме. В этом случае переработка отходов идет значительно быст-

рее и качественнее. Интенсивный процесс образования газов при термофильном режиме начинается уже на 12-й день после загрузки реактора; вредоносная флора быстро полностью уничтожается. Однако при термофильном режиме необходимо поддерживать в реакторе температуру с точностью до двух градусов для получения требуемого количества биогаза. Это повышает затраты на поддержание температурного режима работы БГУ [6, 7, 13].



Рис. 20.3. Внешний вид метантэнка с загрузчиком



Рис. 20.4. Метантэнк с газгольдером на крыше

Метантэнк (реактор) является газонепроницаемым, герметичным резервуаром из железобетона или стали. Для поддержания заданной постоянной температуры резервуар оборудуется внутри системой подогрева днища и стенок. Вся конструкция резервуара проходит обязательные гидравлические испытания. Для снижения тепловых потерь реактор покрывается с внешней стороны эффективной тепловой изоляцией.

Газгольдер (рис. 20.4) используется в качестве газонепроницаемого покрытия метантэнка (реактора) БГУ и выполняет функцию хранения газа. Мембрана газгольдера имеет высокую стойкость к ультрафиолету и озону и низкую газовую проницаемость. Высокая эластичность обеспечивает надежную фиксацию мембраны на крыше. Пленку закладывают во вмонтированный в гребень стены резервуара конусный желоб из твердого ПВХ и плотно зажимают при помощи резинового шланга. Этой конструкции достаточно для удержания биогаза. Над самим газгольдером расположена внешняя кровля. Под нее при помощи небольшого компрессора вдувают воздух; благодаря этому купол надувается и образуется самонесущая крыша из пленки.

Внутри реактора находится перемешивающее устройство, обеспечивающее постоянное движение среды. В зависимости от физико-механических свойств субстрата используют разные виды перемешивающих устройств: механические, гидравлические или пневматические (рис. 20.5).

Выгрузка переработанного субстрата происходит автоматически с такой же периодичностью, как и загрузка. Управление работой всех узлов БГУ производится по командам от программного комплекса, подключенного к датчикам текущего состояния объекта управления.

Переработанный субстрат подается на сепаратор (рис. 20.6). Система механического разделения включается после завершения процесса ферментации в реакторе и разделяет остатки брожения на твердые и жидкие компоненты.

Транспортировка твердой фракции удобрения производится погрузчиком, а транспортировка жидкой фракции – с помощью насоса и трубопровода в лагуну для хранения. Твердые удобрения обычно вывозятся на собственные поля агрокомплекса. После дополнительной просушки и упаковки в мешки удобрение, полученное в БГУ, реализуется сторонним потребителям.



Рис. 20.5. Внутренний вид метантенка с мешалкой



Рис. 20.6. Сепаратор для разделения массы биоудобрения

Энергетические аспекты использования БГУ

Известно, что при решении проблем энергоснабжения агропредприятия традиционными методами затраты на электроэнергию и теплоснабжение будут значительными. Особенно это касается таких технологий, как переработка молока, тепличное хозяйство, ферма КРС. Например, энергетические затраты в себестоимости молока будут составлять 15–20 руб. на литр. Кроме того, в силу суровых климатических условий ряда регионов России много теплоты потребляется в системах отопления и вентиляции производственных и административных помещений.

При проектировании и строительстве агрокомплексов обычно возникают проблемы с энергообеспечением производственных процессов, включающие ряд условий:

- необходим значительный уровень электропотребления предприятия при низкой величине собственной электрогенерации;
- потребляется большое количество теплоты, используемой в основном на технологические цели, отопление и ГВС;
- в районе расположения комплекса отсутствуют резервы электрической мощности на близлежащих распределительных устройствах энергосистемы;
- отсутствуют близлежащие котельные или другие источники теплоты;
- район строительства агрокомплекса не газифицирован.

Вышеуказанные причины требуют перехода к максимальной энергетической автономности предприятия и отказа (по возможности) от закупок электроэнергии из энергосистемы. Данные условия можно выполнить при включении в состав агрокомплекса собственного источника электроэнергии. Для снижения расходов на теплоснабжение объектов комплекса нужен также эффективный и малозатратный источник теплоты. Поэтому особое внимание при проектировании агрокомплекса следует уделять использованию основных и резервных энергетических ресурсов, включая БГУ.

При эффективной организации процессов в БГУ образующийся в метантенках биогаз запасается в газгольдерах для дальнейшего использования. Из газгольдера производится непрерывная подача биогаза на когенерационную установку или в систему очистки газа. Отведение биогаза происходит по трубопроводу, который оснащен устройствами автоматического отвода конденсата и предохранительными устройствами, защищающими газгольдер от превышения допустимого давления. Предохранительные устройства подключены к общей системе управления и датчикам контролируемых параметров БГУ.

На животноводческих комплексах выгоднее всего преобразовывать биогаз в электроэнергию и тепловую энергию в КГУ (рис. 20.7 и 20.8). Даже если уровень энергопотребления фермы агрокомплекса невелик, то у предприятия всегда есть дополнительные технологические линии, которые потребляют электроэнергию и теплоту. Биогаз можно использовать и напрямую для сжигания в котельной, подключенной к системам отопления и ГВС предприятия.



Рис. 20.7. Модуль КГУ мощностью 200–300 кВт



Рис. 20.8. Модуль КГУ мощностью 1,2–1,5 МВт

Когенерационные установки газопоршневого или газотурбинного типа представляют собой энергетическое оборудование (специализированные двигатели с электрогенераторами и теплообменниками) для комбинированного производства электроэнергии и тепла [14–16]. На электростанциях конденсационная теплота цикла, генерируемая при производстве электроэнергии, обычно отводится в окружающую среду, а в КГУ теплота в виде горячей воды с температурой 70–90°C используют для отопления и ГВС. КГУ являются в данный момент наиболее экономически эффективными агрегатами, обеспечивающими одновременное производство электрической и тепловой энергии (в соотношении 50% + 50%). Для резервирования КГУ может быть подключена к системе централизованного газоснабжения предприятия или можно использовать СУГ.

Организация процесса управления БГУ

Модуль когенерационной установки, применяемый в схеме БГУ, оборудован индивидуальной системой автоматического управления основными параметрами. Автоматика обеспечивает работу установки в пределах от 75 до 100% по производству электрической энергии. При 100% производстве электрической энергии модуль перерабатывает весь объем подготовленного биогаза; при снижении производства электрической энергии ниже 75% остаток биогаза отводится через специальные устройства на утилизацию в свечу.

Все узлы БГУ оснащены оборудованием, контролируемым автоматической системой управления (АСУ ТП); затраты человеческого труда минимальны. Используется два режима организации эксплуатации и контроля работы узлов биогазовой установки:

- программное управление технологическими процессами осуществляется по задаваемым временным интервалам и синхронизируется между всеми узлами БГУ;
- управление производится по данным, поступающим в АСУ ТП от контрольно-измерительных приборов БГУ (по этому принципу организованы системы автоматического контроля предельных или аварийных значений технологических операций).

Сигналы для синхронной работы узлов БГУ поступают на центральный программно-логический контроллер. Контроллер производит опрос датчиков, контролирующих технологические параметры регулируемого объекта, и выводит информацию на экран монитора. На экране отображены сооружения и узлы БГУ, оснащенные электроприводными устройствами и датчиками значений параметров среды. Каждый раз при перезагрузке биогазовой установки ведется регистрация значений параметров обрабатываемой в БГУ биомассы. Работа биогазовой установки отображается на мониторе центральной диспетчерской. Диспетчерская оборудована центральным пультом управления, позволяющим переводить работу всех участков биогазовой установки в ручной или автоматический режим для местного или дистанционного управления.

Технологическая схема БГУ

Принципиальная технологическая схема биогазовой установки представлена на рис. 20.9.



Рис. 20.9. Технологическая схема БГУ

В дополнение к изложенным выше характеристикам узлов БГУ можно указать следующие особенности эксплуатации установки [2, 7, 13]:

- для эффективного сбраживания необходимо поддерживать постоянную повышенную температуру субстрата и осуществлять его регулярное перемешивание;
- в случае применения в БГУ низких температур (менее 32 °С) необходимо использовать в схеме установки реакторы большего объема;
- процесс переработки отходов в БГУ не должен быть менее 20 дней при непрерывном регулировании кислотно-основного равновесия биомассы в реакторе;
- следует организовать контроль составляющих выделяемого биогаза для поддержания количества метана на уровне не ниже 60 %;
- необходимо обеспечивать постоянный отвод биогаза из газгольдера БГУ в когенерационный блок для выработки необходимой тепловой и электрической мощности;
- следует контролировать работу оборудования АСУ ТП объекта.

Заключение

Для обеспечения утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий в Приморском крае агрокомплексы и крупные животноводческие фермы необходимо оснащать биогазовыми установками.

Учитывая требования к утилизации отходов, получающихся при работе животноводческих агрокомплексов, применение БГУ с когенерационными установками является наиболее эффективным как с экологической, так и энергетической стороны.

С учетом потребляемых когенераторами БГУ объемов биогаза следует использовать буферные газгольдеры для сглаживания суточных колебаний энергопотребления и обеспечения необходимого КГУ суточного запаса газа.

При подключении предприятия к системе газоснабжения в КГУ следует подавать в качестве топлива смесь природного газа (или СУГ) и биогаза из БГУ.

Производительность БГУ по газу при переработке навоза КРС можно увеличить на 50–60 %, используя приемы интенсификации процесса метаногенеза в реакторе установки.

Размеры реактора БГУ и компоновка узлов установки определяются индивидуально для каждого предприятия с учетом имеющегося поголовья животных и их возможного прироста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Некрасов, В.Н. Экономическое сравнение вариантов систем энергоснабжения малых потребителей на основе биогазовых установок / В.Н. Некрасов // Промышленная энергетика. – 2001. – № 5. – С. 22–24.
2. Стребков, Д.С. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства / Д.С. Стребков, А.А. Ковалев // Техника и оборудование для села. – 2006. – № 11. – С. 28–30.
3. Мейлах, И.К. Опыт эксплуатации и увеличения мощности первой в России промышленной БГС. Выгода от переработки отходов посредством брожения на биогазовой станции / И.К. Мейлах // Инновационная Россия. – 2015. – № 12 (206). – С. 66–69.

4. Прокопенко, А.А. Аспекты экономического расходования ресурсов на примере применяемых биогазовых установок / А.А. Прокопенко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1 (1). – С. 9–15.
5. НТП 17-99. Система нормативных документов в агропромышленном комплексе министерства сельского хозяйства Российской Федерации: нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета / Минсельхозпрод РФ. 31.04. 1999. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032480>
6. Добрынина, О.М. Технологические аспекты получения биогаза / О.М. Добрынина // Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 2. – С. 33–40.
7. Майстренко, А.Ю. Общая характеристика метагенеза и обоснование технологических схем получения биогаза / А.Ю. Майстренко, Ю.В. Курис, В.В. Ярмош [и др.] // Энергетика и электрификация. – 2009. – № 3. – С. 52–59.
8. Шерьязов, С.К. Пути повышения эффективности биогазовой установки / С.К. Шерьязов, В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 3 (28). – С. 238–252.
9. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития. Научно-аналитический обзор. – URL: <http://biotoprk.ru/files/news/bioenergetic>
10. Друзьянова, В.П. Биогазовая технология за рубежом / В.П. Друзьянова, В.В. Горбунова // Электронный научный журнал СтройМного: [сайт]. – 2016. – № 4 (5). – URL: <http://stroymnogo.com/science/tech/biogazovaya-tehnologiya-za-rubezho>
11. Караева, Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания / Ю.В. Караева // Труды Академэнерго. – 2010. – № 3. – С. 109–127.
12. Барков, В.И. Результаты испытаний биогазовой установки в фермерском хозяйстве / В.И. Барков, А.Б. Токмолдаев, В.А. Аблинанов, Б.А. Сарыбаев // Роснаука: Сельское хозяйство; Механизация сельского хозяйства: [сайт]. – URL: http://www.rusnauka.com/6_PNI_2011/Agricole/2_79078.doc.htm
13. Васенев, В.В. Тепловой баланс метантенка биогазовой установки / В.В. Васенев, Ю.П. Ильин, Г.А. Круглов // АПК России. – 2015. – Т. 72, № 2. – С. 29–33.
14. Седнин, В.А. Повышение энергетического потенциала биогаза / В.А. Седнин, О.Ф. Краецкая, И.Н. Прокопеня // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2012. – № 1. – С. 73–76.
15. Слесаренко, В.В. К определению термодинамической эффективности когенерационных установок / В.В. Слесаренко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 4. – С. 36–38.
16. Хмельницкий, В.К. Использование биомассы в энергетических целях в Приморском крае: проблемы и перспективы / В.К. Хмельницкий, В.В. Слесаренко // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 3. – С. 125–130.

Информация об авторах

Слесаренко Вячеслав Владимирович, д-р техн. наук, доцент, старший научный сотрудник научно-технологического центра, Институт химии ДВО РАН.
E-mail: vslesarenkov@rambler.ru

Юдаков Александр Алексеевич, д-р техн. наук, заведующий научно-технологическим центром, Институт химии ДВО РАН. E-mail: etcih@mail.ru

Власенко Виктор Сергеевич, старший преподаватель, Политехнический институт Дальневосточный федеральный университет. E-mail: plbivodoom@mail.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 20. BIOGAS PLANTS FOR UTILIZATION OF WASTE FROM AGRICULTURAL ENTERPRISES IN PRIMORSKY KRAI

Vyacheslav V. Slesarenko¹, Alexander A. Yudakov¹, Viktor S. Vlasenko²

Abstract. *The paper considers the issues of using biogas plants for the disposal of waste from agricultural enterprises. The most characteristic advantages of using biogas technology for waste processing and obtaining energy raw materials and fertilizers are determined. The design features, technical characteristics, and energy aspects of the use of modern biogas plants are presented in detail. The principles and methods of control of technological processes of biogas plants are considered.*

Keywords: *biogas; plant; scheme; utilization; waste.*

Information about authors

Vyacheslav V. Slesarenko, Dr. Sci., Associate Professor, Senior Researcher Scientific and Technological Center, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: vslesarenkov@rambler.ru

Alexander A. Yudakov, Dr. Sci., Head of the Scientific and Technological Center, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: etcih@mail.ru

Viktor S. Vlasenko, Senior Lecturer, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University. E-mail: plbivodoom@mail.ru

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

² Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 21. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ ПОРИСТЫХ ТЕХНОГЕННЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ОЛЕОФИЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

О.Н. Цыбульская¹, Т.В. Ксеник¹, А.А. Юдаков¹, А.А. Кисель¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-229-241>

Аннотация. Приведены результаты по выбору и обоснованию рационального аппаратного оформления технологического процесса получения олеофильного сорбента на основе пористых техногенных алюмосиликатов. Дано описание лабораторной и опытно-промышленной установок. Экспериментально обоснованы режимы ведения процесса модификации на всех его стадиях. Изучены свойства гранулированного пеносиликата, природного перлита и олеофильных материалов на их основе. Представительность установленных режимов доказана испытанием опытных партий олеофильного сорбента при сорбции нефтепродуктов в лабораторных и реальных условиях.

Ключевые слова: нефтесорбент; установка; модификация; пеносиликат; перлит.

Проблема очистки сточных вод и акваторий от техногенных загрязнений является одной из наиболее важных и одновременно трудно решаемых промышленных экологических задач. Особую опасность представляет загрязнение водоемов нефтепродуктами, происходящее недалеко от крупных городов и населенных пунктов. На Дальнем Востоке, в том числе в Приморском крае, выбросы и разливы нефти связаны с деятельностью дальневосточных портов [1]. Периодически возникают внештатные ситуации с разливом нефтепродуктов в нефтеналивных портах Находки. В марте 2020 г. в г. Находке Приморского края на топливном складе произошел выброс порядка 1,6 тыс. т мазута, в результате пострадали расположенные рядом озеро и береговая полоса. Основной объем попавшего в озеро мазута удалось собрать с использованием сорбентов [2]. 23 мая 2022 г. в Приморье произошел разлив мазута в результате разрушения законсервированного нефтеналивного пирса в бухте Рудная. Образовалось пятно длиной около 2 км, шириной порядка 100 м, произошло загрязнение береговой полосы [3]. Для локализации нефтяного «пятна» на водной поверхности использовались боновые заграждения.

Нефтепродукты регулярно попадают в прибрежные воды Приморья от проходящих судов, сбрасывающих за борт льяльные воды, теряется топливо при перезагрузках и дозаправках судов в море. В период активизации циклонов и тайфунов в Тихом океане повышается вероятность аварий с морскими судами, в том числе с разливом нефтепродуктов.

Для обработки загрязненных поверхностей на месте аварий используются разнообразные сорбенты нефтепродуктов: на основе активированного угля, силикагеля, оксида алюминия, диоксида кремния, различных ионообменных смол, торфа и др. Использование адсорбентов дает возможность оперативно удалить нефтепродукты с поверхности грунта и воды и снизить экологический ущерб. Известные нефтесорбенты не являются универсальными и имеют определенные

¹ Институт химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

недостатки или особенности использования, связанные с их производством, условиями эксплуатации, утилизацией или регенерацией.

Очевидно, что увеличивающиеся масштабы производства, частые аварийные, залповые загрязнения воды, ужесточение требований к качеству воды делают необходимым поиск более эффективных и экономически приемлемых сорбционных материалов для очистки водных объектов от органических загрязнений.

В Институте химии Дальневосточного отделения РАН имеется опыт исследования и получения недорогих и эффективных сорбентов путем химико-термической обработки поверхности пористых алюмосиликатных материалов природного и искусственного происхождения неполярными углеводородами [4, 5]. Для совершенствования технологии создавались и испытывались установки различных конструкций. Однако для дальнейшей промышленной реализации процессов получения и применения данных сорбентов нужны научно обоснованные и конкретные (в том числе с учетом особенностей сырьевого материала) рекомендации.

В связи с этим целью данной работы стала разработка и экспериментальная проверка рационального аппаратного оформления и режимов технологического процесса получения олеофильных сорбентов на основе алюмосиликатов, изучение физико-химических свойств сорбентов.

Оборудование и технология

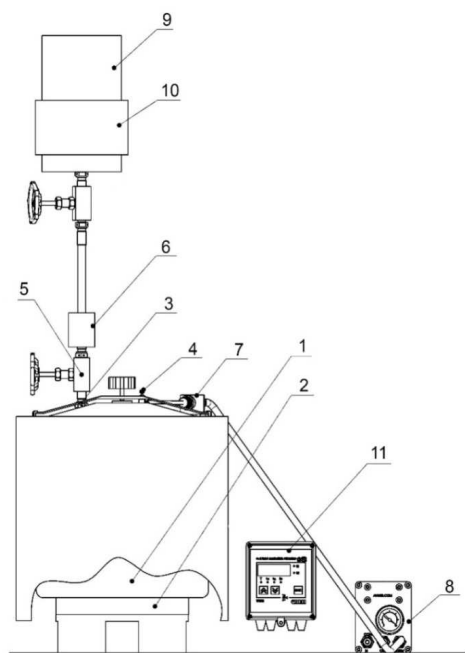


Рис. 21.1. Схема лабораторной установки для получения олеофильных материалов:
1 – автоклав; 2 – спиральный нагреватель;
3 – форсунка; 4, 5 – клапан; 6 – мерная емкость;
7 – фильтр; 8 – вакуумный насос; 9 – емкость для модификатора; 10 – хомуты; 11 – измеритель-регулятор

Для проведения лабораторных исследований и определения режимных параметров процесса модификации была разработана лабораторная установка небольшой производительности (рис. 21.1). Рабочая камера установки – автоклав 1 представляет собой цилиндрическую емкость из нержавеющей стали ($\varnothing 260 \times 250 \times 2$ мм) с герметически закрывающейся крышкой. В нижней части автоклава располагается спиральный нагреватель 2 со встроенной термопарой и подставка с тепловым отражателем. В крышке автоклава располагается форсунка для распыления модифицирующего вещества 3 и вакуумный клапан 4. Форсунка-распылитель связана подающей трубкой через клапан 5 с мерной емкостью 6 объемом 10 см^3 . В качестве модифицирующего вещества может использоваться мазут, дизельное топливо, техническое масло, парафин.

Предварительно высушенный в сушильном шкафу сырьевой материал помещается в автоклав. Вакуумирование автоклава до остаточного давления 0,2–0,5 атм производится через вакуумный клапан и фильтр-влагоотделитель 7 при помощи вакуумного насоса 8. Контроль давления осуществляется вакуумным манометром. Далее автоклав разогревается до температуры обработки материала при помощи нагревателя 2. Модифицирующее вещество для улучшения текучести разогревается в емкости подготовки 9, которая снабжена металлическим хомутовым нагревателем 10 со встроенной термопарой. Разогретый модификатор в рассчитанном количестве (1–2 % от массы сырья) подается в мерную емкость через игольчатый клапан из емкости подготовки. Открытием клапана 5 создается подача жидкого модификатора из емкости в рабочий объем автоклава через капельную форсунку.

Процесс разогрева автоклава и нагрева модификатора контролируется двухканальным измерителем-регулятором 11. В автоклаве образуется газовая фаза модифицирующего вещества (рабочий газ), поднимая давление внутри до 1,2–1,3 атм. Рабочий газ проникает в открытые поры обрабатываемого материала и формирует на стенках пор сплошную органическую пленку, которая постепенно достраивается за счет охлаждения автоклава без его разгерметизации.

Эксперименты по получению сорбционного материала на лабораторной установке позволили перейти к созданию укрупненной опытно-промышленной установки для получения олеофильных материалов. На рисунке 21.2 представлена установка производительностью до 1 м³ за один цикл обработки материала.

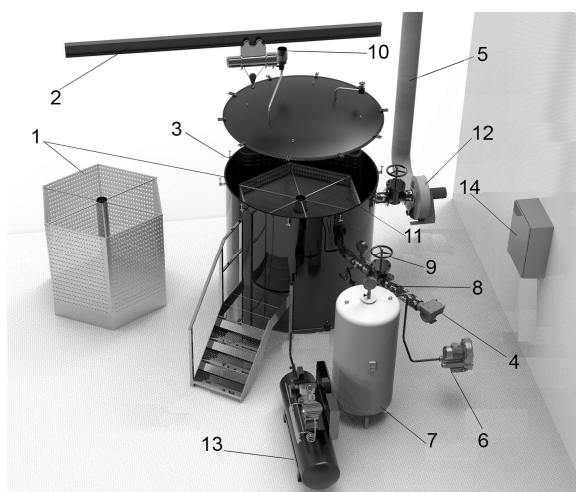


Рис. 21.2. Опытно-промышленная установка для производства олеофильных сорбентов:

- 1 – сетчатая кассета; 2 – тельфер; 3 – рабочая камера; 4 – жидкотопливная горелка;
- 5 – выводная магистраль; 6 – вакуум-насос; 7 – ресивер; 8 – вакуумная магистраль;
- 9 – вентиль; 10 – емкость с подогревателем; 11 – сырьевой материал; 12 – вентилятор отвода горячих газов; 13 – компрессор; 14 – щит управления

Технологический процесс обработки сырья осуществляется следующим образом. Сушка и модифицирующая обработка производятся последовательно в одной рабочей камере. Материал в сетчатой кассете 1 при помощи тельфера 2 загружается в рабочую камеру установки 3. Рабочая камера герметизируется; сушка сырья ведется при помощи жидкотопливной горелки 4. Удаление водяных паров и отработанного теплоносителя осуществляется через выводную

магистраль 5. После сушки сырья при помощи вакуум-насоса 6 создается разрежение в ресивере при перекрытой магистрали 8, соединяющей рабочую камеру и ресивер 7. При достижении необходимого разрежения в ресивере отключается вакуум-насос и при помощи вентиля 9 открывается магистраль 8, тем самым создается разрежение в рабочей камере 0,2–0,5 атм. Предварительно подготовленное жидкое модифицирующее вещество из емкости 10 подается в разогретую вакуумированную рабочую камеру. В результате его испарения создается избыточное давление газифицированного модификатора в рабочей камере. Формирование олеофильного покрытия происходит в процессе охлаждения материала без разгерметизации.

Опыт эксплуатации установки такого типа (см. рис. 21.2) показал ряд технологических недостатков. В первую очередь в данной конструкции сложно было обеспечить полную герметичность камеры на этапе вакуумирования. Кроме того, сырьевой материал, загруженный в кассеты большого объема, недостаточно равномерно прогревался, следовательно, качество обработки материала было нестабильным. Для получения потока теплоносителя и рабочего газа также необходимо применение дополнительного оборудования, горелочных или форсуночных устройств. Помимо этого, работа с установкой требовала соблюдения правил устройства и эксплуатации сосудов, работающих под давлением, так как в рабочей камере создавалось избыточное давление. Несмотря на указанные технологические недостатки, практический опыт показал, что обработку дисперсных материалов можно осуществлять в газовой фазе без механического перемешивания, а в ряде случаев, с учетом характеристик исходного сырья, обработка в неподвижном слое является незаменимой.

С учетом практического опыта и после проведения ряда экспериментальных исследований было разработано аппаратное оформление технологии получения олеофильных сорбентов, представленное на рис. 21.3.

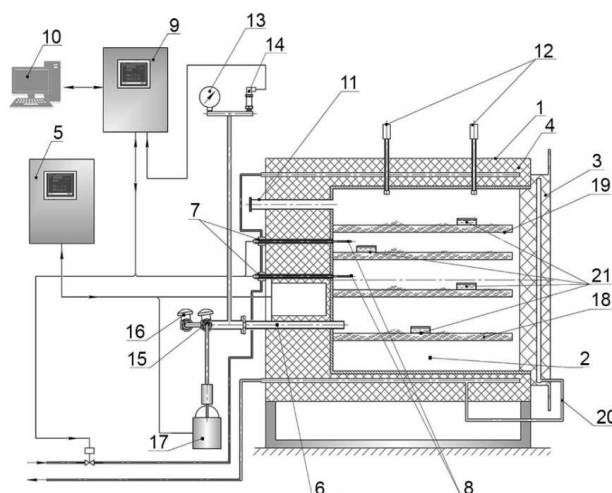


Рис. 21.3. Схема опытно-промышленной установки:

- 1 – корпус установки; 2 – камера нагрева; 3 – дверца с уплотнителем;
- 4 – теплоизоляционный материал; 5 – блок управления; 6 – патрубок отвода газов;
- 7 – гермовводы; 8 – термопары; 9 – прибор контроля и управления; 10 – компьютер;
- 11 – заглушка; 12 – технологический патрубок; 13 – мановакууметр;
- 14 – преобразователь давления; 15 – вентиль откачки воздуха; 16 – впускной вентиль;
- 17 – вакуумный насос; 18 – сырье; 19 – поддоны; 20 – магистраль водяного охлаждения;
- 21 – кюветы

Установка изготовлена из листовой стали; представляет собой цилиндрический корпус 1, в котором размещена камера нагрева 2. Камера нагрева герметично закрывается дверцей с уплотнителем 3. Пространство между корпусом и камерой нагрева заполнено теплоизоляционным материалом 4. Управление режимами технологического процесса осуществляется с блока управления 5. Камера нагрева оснащена патрубком отвода газов 6, регулирующей термопарой, двумя гермовводами 7 для установки термопар 8, необходимых для определения температуры обрабатываемого материала. Для удаления влаги, образующейся в процессе прокаливания материала, на задней стенке камеры предусмотрен патрубок с уплотнением и заглушкой 11. В патрубке 11 и на дверце 3 происходит частичная конденсация модифицирующего вещества, которое используется для формирования покрытия на материале. Очистка патрубка и дверцы осуществляется механическим путем. В конструкции предусмотрены два технологических патрубка 12 для установки при необходимости дополнительного оборудования (например, подрывного клапана для обеспечения безопасной работы или питателя для подачи модифицирующего вещества в рабочую камеру). На вакуумной магистрали смонтирован стрелочный мановакууметр 13, электронный преобразователь давления 14, вентиль откачки воздуха 15, впускной вентиль 16, служащий для напуска воздуха в рабочую камеру.

Показания термопар 8 и электронного преобразователя давления 14 фиксируются универсальным прибором контроля и управления 9, имеющим выход на компьютер 10 с установленной SCADA-системой. Пластинчато-роторный вакуумный насос 17 через масляную ловушку и вакуумный вентиль связан с камерой нагрева вакуумным рукавом.

Сырьевой материал 18 загружается на поддоны 19, которые помещаются в рабочую камеру установки для прокаливания. Прокаливание необходимо для удаления из открытых пор и капилляров влаги физико-механической и физико-химической связи и подготовки поверхности материала к нанесению модифицирующего покрытия. После прокаливания рабочая камера интенсивно охлаждается до температуры окружающей среды за счет подключения к магистрали водяного охлаждения 20.

Нанесение покрытия производится в этой же рабочей камере без выгрузки прокаленного сырья. На поддоны с подготовленным материалом помещаются кюветы 21 с необходимым расчетным количеством модифицирующего вещества. Камера герметизируется и вакуумируется. Для обеспечения безопасных условий работы вакуумного насоса температура откачиваемой среды в рабочей камере не должна превышать предельных значений температуры воздуха в помещении (не более +35 °C). По достижении необходимого разрежения в рабочей камере вакуумный насос отключается. В условиях разрежения открытые поры и тонкие капилляры по всему объему хорошо просушенного сырьевого материала освобождаются от воздуха. Затем включается повторный нагрев, который необходим для перевода жидкого или твердого модифицирующего вещества в газовую фазу. Выдержка в течение 10–20 мин производится для полного испарения модифицирующего вещества. В процессе выдержки происходит его разогрев и образование газовой фазы углеводородных соединений (рабочего газа). При нагреве длинные углеводородные цепочки молекул модифицирующего вещества распадаются на более короткие, которые контактируют с поверхностью разогретого материала (т.е. происходит термическое разложение с образованием непре-

дельных углеводородных соединений). Вследствие образования газовой фазы модифицирующего вещества разрежение в рабочей камере незначительно снижается. Затем нагрев прекращается; камера с материалом остается загерметизированной до полного охлаждения. В условиях разрежения рабочий газ заполняет все пространство камеры, что при охлаждении способствует лучшей адсорбции углеводородов на поверхности пор. Газовая фаза проникает в открытые поры обрабатываемого материала и формирует на стенках пор сплошную органическую пленку, которая постепенно достраивается при охлаждении рабочей камеры без разгерметизации. Изменение расхода модифицирующего вещества позволяет регулировать толщину покрытия на поверхности материала, получать тонкие пленки (предположительно, толщиной в несколько молекулярных диаметров), избегать закупоривания пор малого размера модифицирующим веществом. Тем самым сохраняется высокая удельная поверхность обрабатываемого материала и объем открытых пор, что повышает его адсорбционную способность по отношению к нефтепродуктам.

На представленных опытно-промышленных установках (см. рис. 21.2 и рис. 21.3) были отработаны технологические режимы получения сорбентов на основе вермикулита, перлита, керамзита, пеносиликата.

Результаты и обсуждение

Гранулированный рентгеноаморфный пеносиликат, с размером гранул от 2 до 8 мм и насыпной плотностью от 70 до 150 кг/м³, был получен в результате восстановительного плавления отходов руды слюдяного сланца по технологии, разработанной в Сибирском отделении РАН [6, 7]. Способ получения рентгеноаморфного пеносиликата включает плавление шихты в восстановительной среде с предварительным доведением содержания оксида кремния и кальция до массового отношения SiO₂/CaO, равного интервалу 1–2. В результате охлаждения силикатной части расплава в режиме термоудара получают пеносиликат.

Высокопористый перлит был получен после высокотемпературной обработки природного алюмосиликата перлита, который имеет разветвленную смешанно-пористую структуру и невысокую удельную поверхность. Химический состав образцов природного перлита представлен следующими оксидами, % масс.: SiO₂ – 68,2; Al₂O₃ – 16,83; Fe₂O₃ – 0,46; FeO – 0,7; MgO – 0,16; CaO – 0,71; K₂O – 3,18; Na₂O – 3,55; MnO – 0,12; TiO₂ – 0,18; P₂O₅ – 0,16; H₂O – 1,46. Для увеличения удельной поверхности и пористости природного перлита и получения материала с развитой системой открытых пор необходима его термическая модификация – вспучивание. Вспучивание перлита – это технологическая операция, которая заключается в высокотемпературном обжиге, при котором материал приобретает пиропластическое (пластично-вязкое) состояние; из него уходит молекулярная вода в виде паров, а также выделяются другие газы (CO₂, O₂). Образующиеся газы, стремясь к выходу, вспучивают частицу, т.е. придают ей пористое строение. Гидроксильная вода удаляется из материала без разрушения его кристаллической решетки. Химический состав перлита оказывает существенное влияние на процесс вспучивания. Присутствие щелочей влияет на вязкость и поверхностное натяжение размягченной породы, снижая температуру размягчения. Очевидно, что суммарное содержание Na₂O и K₂O в количестве 6,73% в образцах перлита благоприятно влияет на процесс вспучивания.

Вспучивание образцов перлита проводилось в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25226–96. Был выбран двухстадийный режим термической модификации; предварительно проводилась термоподготовка путем прогрева образцов при 350 °С в течение 15–20 мин для удаления избыточной влаги, а затем при температурах 1000–1150 °С образцы подвергались кратковременному обжигу в течение 30–60 с (термическому удару).

После вспучивания образцов перлита был проведен его рентгенофазовый и химический анализы. Рентгенофазовый анализ установил рентгеноаморфность структуры всех вспученных образцов перлита. Химический анализ показал увеличение содержания аморфного SiO₂ на 7,41 %, а также перераспределение содержания других оксидов в составе. Насыпная плотность перлита фракционного состава от 3 до 5 мм составила 0,18 г/см³. Таким образом, после термической модификации перлита формируется развитая пористая структура, что создает благоприятные условия для его термохимической модификации и получения олеофильных материалов.

Для получения олеофильных сорбентов были отобраны образцы вспученного перлита и гранулированного пеносиликата. Содержание оксидов в образцах представлено в табл. 21.1.

Таблица 21.1

Химический состав образцов материала

Образец	Содержание, % масс.								
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Перлит	0,62	75,61	12,75	0,11	0,12	0,74	0,12	4,38	3,83
Пеносиликат	37,4	41,2	11,9	3,11	1,42	Не обн.	Не обн.	3,35	0,939

Образцы пеносиликата состоят преимущественно из следующих компонентов: CaO, SiO₂, Al₂O₃. Эти компоненты являются основными, они определяют химические особенности поверхности материала. Содержание оксидов других металлов в образцах незначительно. Основные компоненты, входящие в состав перлита и определяющие химические особенности поверхности образцов, – преимущественно SiO₂ и Al₂O₃, а также в меньших количествах K₂O и Na₂O.

Важной характеристикой получаемых сорбентов является количество модифицирующего вещества на поверхности частицы. Опыт показал, что оптимальный расход модификатора на единицу массы обрабатываемого материала составляет 1–2 % масс. В данных экспериментах в качестве модифицирующего вещества использовали мазут марки М-100 (ГОСТ 10585–2013) и высокоочищенный парафин нефтяной марки П-2 (ГОСТ 23683–89).

Оптимальные режимы технологического процесса установлены экспериментально. Характер изменения режимных параметров обработки образцов материала на технологическом этапе термохимического модифицирования при использовании мазута и парафина в качестве модификаторов представлен на рис. 21.4.

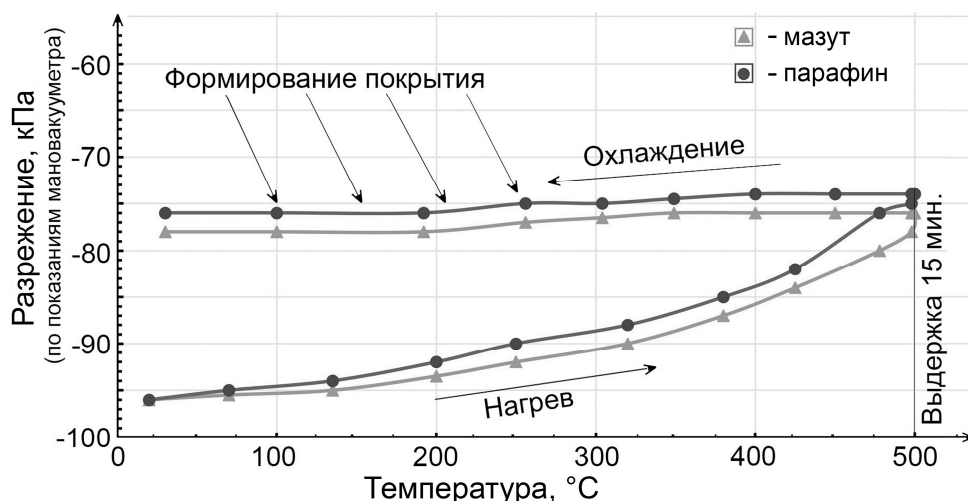


Рис. 21.4. Режимы термохимической модификации

Начало активного образования газовой фазы соответствует температурам 320–350 °C, при этом разрежение в рабочей камере снижается до значения 75–80 кПа. Формирование и закрепление покрытия на поверхности материала происходят в процессе его охлаждения в условиях разрежения.

После проведения модифицирующей обработки были исследованы характеристики полученного сорбента.

Определение плавучести перлита и пеносиликата показало, что все образцы вследствие низкой насыпной плотности остаются на поверхности воды в насыщенном нефтепродуктом состоянии в течение 96 ч, что позволяет отнести их к адсорбентам высокой плавучести.

Качество покрытия на образцах модифицированного пеносиликата и перлита оценивали по краевому углу смачивания, который определяли по стандартной методике измерения краевых углов сидящей капли на поверхности частицы или уплотненного слоя материала. Для пеносиликата статический угол смачивания составил 142–145 °, для перлита – от 89 до 102 °.

Одним из факторов, характеризующих качество олеофильных сорбционных материалов, является поглощение ими воды. Водопоглощение в статических условиях по отношению к дистиллированной воде определяли как отношение массы воды, содержащейся в образце, к массе сухого образца. Водопоглощение после 48 ч выдержки для необработанного перлита составило 75 % масс., для модифицированного мазутом перлита – 12,5 % масс., для необработанного пеносиликата – 180 % масс., для модифицированного мазутом пеносиликата – 108 % масс., для модифицированного парафином пеносиликата – 87 % масс.

При разработке сорбционных олеофильных материалов главным критерием, который следует учитывать, является их нефтепоглощающая способность. Нефтеемкость, г/г, по отношению к дизельному топливу определяли гравиметрически по разнице масс исходного и насыщенного нефтепродуктом образца.

Результаты определения нефтеемкости водонасыщенных образцов пеносиликата позволили провести сравнительную оценку эффективности исходного и модифицированного материалов.

Нужно отметить, что, для того чтобы максимально приблизиться к реальным условиям эксплуатации сорбционных материалов, в которых присутствует контакт сорбента с водной средой, в экспериментах использовали водонасыщенные образцы пеносиликата. Это факт необходимо учитывать при анализе результатов испытаний. Очевидно, что при испытании неводонасыщенных сухих образцов пеносиликата нефтеемкость будет значительно выше. Изменение нефтеемкости в течение суток испытаний для пеносиликата представлено на рис. 21.5.

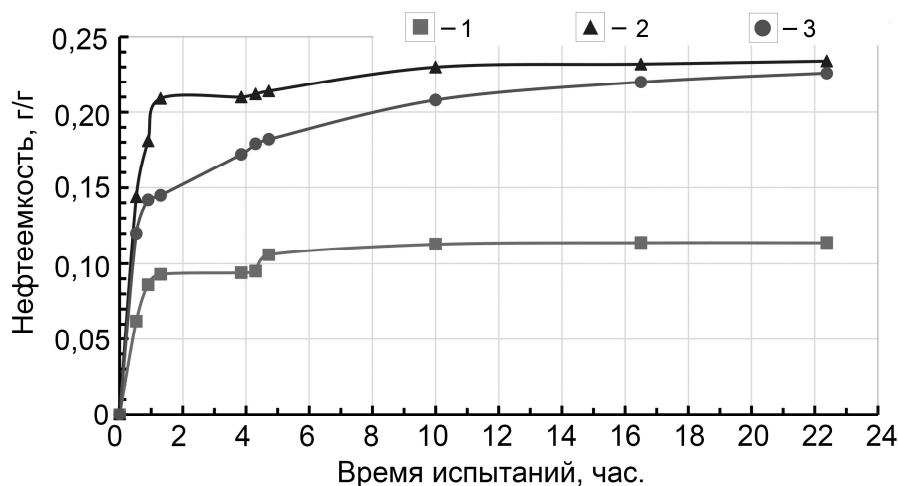


Рис. 21.5. Нефтеемкость водонасыщенных образцов пеносиликата: 1 – необработанный; 2 – модифицированный мазутом; 3 – модифицированный парафином

Первые измерения проводились через 30 мин от начала испытаний. Результаты показали, что максимальное адсорбционное насыщение составляет 0,144 г/г для образцов пеносиликата, модифицированных мазутом. Резкий рост нефтеемкости наблюдается до 1,3 ч испытаний для всех образцов. Равновесие в системе быстрее устанавливается для необработанного пеносиликата через 10 ч от начала испытаний. Максимальная величина насыщения 0,23 г/г достигается через 10 ч для образца, модифицированного мазутом. Для образцов, модифицированных парафином, максимальная величина насыщения 0,22 г/г достигается через 16,5 ч от начала испытаний.

Для определения нефтеемкости по дизельному топливу для неводонасыщенных сухих образцов были проведены испытания модифицированного пеносиликата и перлита в течение 24 ч. Сорбционная емкость, г/г, определялась гравиметрически (табл. 21.2). Для сравнения в табл. 21.2 также представлены характеристики других алюмосиликатных материалов, модифицированных в парогазовой фазе углеводородных соединений по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН.

Очевидно, что модифицированный пеносиликат по своим сорбционным характеристикам сопоставим с модифицированным вспученным перлитом, который достаточно успешно используется для очистки сточных и льяльных вод, загрязненных нефтепродуктами.

Таблица 21.2

**Сравнительная оценка модифицированных перлита и пеносиликата
по отношению к другим сорбционным материалам**

Модифицированные алюмосиликаты	Краевой угол, град	Сорбционная емкость по дизельному топливу, г/г
Пеносиликат	142–145	1,92–1,97
Вспученный перлит	89–102	1,92–1,94
Вспученный аргиллит	97	0,49
Вулканический туф	100	0,4
Цеолит	46	0,14
Керамзит	92	0,3

Для определения эффективности очистки водной поверхности от пленки нефтепродукта при помощи разработанных сорбентов были проведены эксперименты по адсорбции нефтепродуктов из водных растворов [8].

Адсорбция нефтепродуктов из водных растворов зависит не только от свойств самого сорбента и поглощаемого им нефтепродукта, но также от воздействия внешних факторов, таких как температура, время, pH среды, давление, разрежение. Для оценки влияния внешних факторов изучалась кинетика адсорбции на образцах олеофильного перлита при температурах 25 и 80 °C и pH среды 6,72 (рис. 21.6). В качестве модельного нефтепродукта использовался мазут марки М-100, который наносился на поверхность воды; затем мазут покрывался слоем сорбента. Через установленные промежутки времени сорбент извлекали и взвешивали. Первые измерения проводились через 20 минут после начала испытаний. Кривые кинетики сорбции (см. рис. 21.6) показывают, что уже через 20 мин адсорбционное насыщение составляет 0,487 г/г для образца перлита при температуре 80 °C.

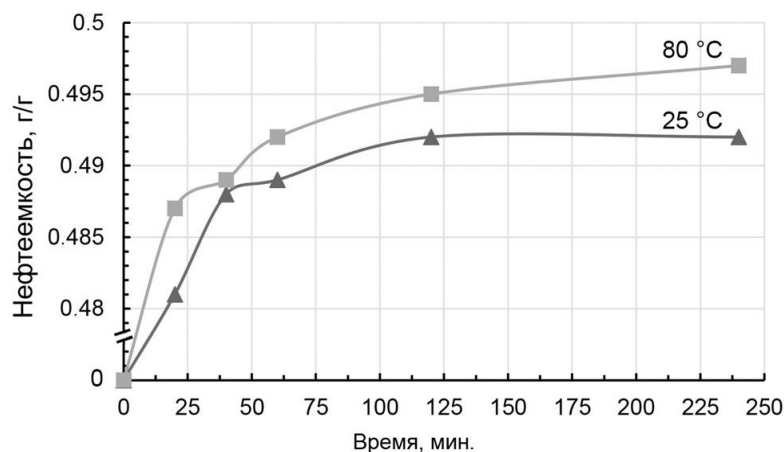


Рис. 21.6. Кинетика адсорбции образцами олеофильного перлита при различных температурах среды

Равновесие в системе быстрее устанавливается при температуре 25 °С (в течение 120 мин). Однако максимальная величина насыщения 0,497 г/г достигается при температуре 80 °С через 240 мин от начала испытаний.

Измерение концентрации нефтепродуктов в воде проводилось методом ИК-спектрофотометрии на концентратометре КН-2м (ПЭП «Сибэко-прибор», Россия). Результаты измерения представлены на рис. 21.7.

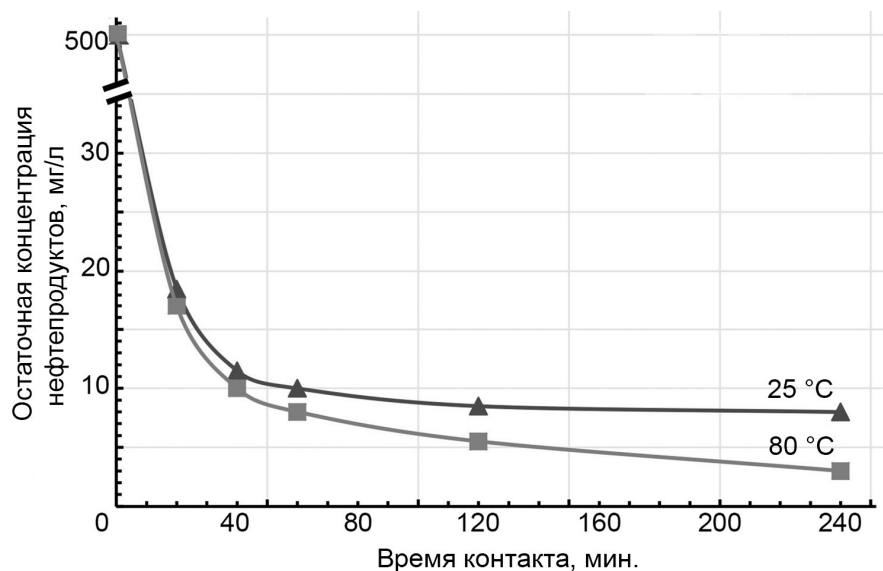


Рис. 21.7. Снижение концентрации нефтепродукта при адсорбции на образцах олеофильного перлита при различных температурах

График снижения концентрации нефтепродукта в воде показывает, что наивысшая степень очистки 99,47 % достигается при более высокой температуре среды. Концентрация мазута в воде снизилась от 500 до 2,64 мг/л за 240 мин.

Заключение

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что предложенная технологическая схема и аппаратное оформление позволяют получать нефтесорбенты на основе пористых алюмосиликатных материалов. Изучение физико-химических характеристик олеофильного перлита и пеносиликата показывает, что полученные сорбенты характеризуются низкой насыпной плотностью, высокой пористостью, развитой поверхностью, плавучестью, низким водопоглощением и хорошей сорбционной емкостью по отношению к нефтепродуктам. Олеофильные сорбенты соответствуют требованиям, предъявляемым к сорбентам для очистки сточных вод, а также для сбора разлитых нефтепродуктов. Следует отметить, что отработанный сорбент может быть регенерирован в разработанной установке путем его обжига и повторной модификации.

Целесообразность установленных технологических режимов получения олеофильных сорбентов доказана изготовлением и успешным испытанием опытных партий для очистки воды от нефтепродуктов в реальных условиях. Доступность сырья, простота технологии изготовления, возможность регенерации – все это делает разработанный способ изготовления сорбентов технологически привле-

кательным. Полученные результаты позволяют реализовать подобные технологии на всех заинтересованных в выпуске и применении подобных сорбентов предприятиях.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН, тема № 0205-2022-0002.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. РИА PrimaMedia.ru: региональное информационное агентство: «Утопленное топливо»: самые крупные разливы нефти на Дальнем Востоке: [сайт]. – Владивосток, 2022. – URL: <https://primamedia.ru/news/368455>
2. ТАСС: информационное агентство России: Хронология крупнейших случаев разлива нефти и нефтепродуктов в России: [сайт]. – Москва, 1999. – URL: <https://tass.ru/info/8641491>
3. РИА Новости: информационное агентство России: В Приморье ликвидировали разлив нефтепродуктов: [сайт]. – Москва, 2018. – URL: <https://ria.ru/20220523/razliv-1790067586.html>
4. Tsybul'skaya, O.N. Technology development for producing hydrophobic aluminosilicate sorbents to remove organic pollutants from water / O.N. Tsybul'skaya, T.V. Ksenik, A.A. Yudakov, A.A. Kisel // Procedia Environmental Science, Engineering and Management. – 2019. – Vol. 6, no. 4. – P. 535–545.
5. Цыбульская, О.Н. Оптимизация технологии получения гидрофобных алюмосиликатных сорбентов / О.Н. Цыбульская, Т.В. Ксеник, А.А. Юдаков [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2018. – № 5. – С. 130–137.
6. Павлов, В.Ф. Физические основы технологии получения новых материалов с заданными свойствами на основе создания системы комплексного использования техногенного и нерудного сырья / В.Ф. Павлов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 196 с.
7. Tsybul'skaya, O.N. The research on the sorption properties of the x-ray amorphous silica foam / O.N. Tsybul'skaya, T.V. Ksenik, A.A. Yudakov [et al.] // Environmental Technology and Innovation. – 2021. – Vol. 23. – P. 101567.
8. Перфильев, А.В. Исследование структурно-сорбционных характеристик Дальневосточных природных алюмосиликатов / А.В. Перфильев // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2010. – № 5. – С. 142–147.

Информация об авторах

Цыбульская Оксана Николаевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: ont55@mail.ru

Ксеник Татьяна Витальевна, научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: tksenik2609@mail.ru

Юдаков Александр Алексеевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: etcih@mail.ru

Кисель Алексей Альфредович, ведущий инженер, Институт химии ДВО РАН. E-mail: musson_k@mail.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 21. OBTAINING OLEOPHILIC SORBENTS FROM POROUS TECHNOGENIC ALUMINOSILICATES FOR THE PURIFICATION OF WATER BODIES FROM ORGANIC POLLUTANTS

Oksana N. Tsybulskaya¹, Tatiana V. Ksenik¹, Alexander A. Yudakov¹, Alexey A. Kisel¹

Abstract. *The results on the choice and justification of the rational hardware design of the technological process for obtaining an oleophilic sorbent based on porous technogenic aluminosilicates are presented. The description of laboratory and experimental-industrial installations is given. The temperature-time regimes for conducting the modification process at all its stages are experimentally substantiated. The properties of granular foam silicate, natural perlite and oleophilic materials based on them have been studied. The representativeness of the established regimes has been proven by testing pilot batches of oleophilic sorbent during the sorption of petroleum products in laboratory and real conditions.*

Keywords: oil sorbent; installation; modification; foam silicate; perlite.

Information about authors

Oksana N. Tsybulskaya, Ph.D., Senior researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: ont55@mail.ru

Tatiana V. Ksenik, Researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: tksenik2609@mail.ru

Alexander A. Yudakov, Dr.Sc., Chief researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: etcih@mail.ru

Alexey A. Kisel, Lead engineer, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: musson_k@mail.ru

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

Глава 22. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О.Н. Цыбульская¹, Т.В. Ксеник¹, А.А. Юдаков¹, И.Ю. Буравлев¹, Д.А. Волков¹,
А.А. Кисель¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-242-255>

Аннотация. Рассмотрен практический подход к проблеме обезвреживания жидких хромсодержащих отходов различной концентрации при переработке больших объемов растворов в производственных условиях. Представлена опытно-промышленная установка для реализации технологического процесса. Описаны технологические особенности при обработке электролитов хромирования и растворов ингибиторов на этапах осаждения шестивалентного хрома и фильтрации образующегося осадка. Приведены результаты анализа состава фильтрата и обезвоженного осадка.

Ключевые слова: опытно-промышленная установка; реагентная обработка; хромсодержащие отходы; раствор ингибитора; отработанный электролит.

Многие экологические проблемы Дальнего Востока связаны с промышленными предприятиями, в процессе деятельности которых образуется большое количество опасных отходов. Это в полной мере относится к работающему в напряженном режиме гальваническому производству предприятий, специализирующихся на судоремонте и судостроении. Гальванические отходы, промывные, сточные воды, отработанные электролиты имеют сложный и нестабильный состав и являются особо токсичными. К трудно нейтрализуемым относятся жидкие гальванические отходы, содержащие соединения шестивалентного хрома. Кроме того, широкое распространение в производстве получило применение растворов ингибиторов различного состава при обслуживании машин и механизмов, при очистке узлов и деталей от эксплуатационных и технологических загрязнений, при очистке поверхностей теплообменных аппаратов в закрытых охлаждающих системах и др. Особенно остро возникает необходимость обезвреживания содержащих шестивалентный хром растворов ингибиторов при техническом обслуживании, выводе из эксплуатации и утилизации атомных подводных лодок.

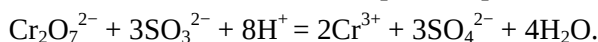
Все хромсодержащие растворы трудно нейтрализуются и представляют экологическую опасность, так как высокое содержание хрома коррозионная активность данных растворов затрудняют их хранение и транспортировку для дальнейшей переработки. Образование значительных объемов таких опасных источников загрязнений оказывает нагрузку на окружающую среду. Проблемы утилизации жидких хромсодержащих отходов требуют разработки и внедрения современных систем их очистки, а также разработки безопасных и экономически эффективных технологий утилизации образующихся твердых осадков.

К базовым методам нейтрализации хромсодержащих отходов относятся реагентный, электрокоагуляционный, гальванокоагуляционный, ионообменный,

¹ Институт химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

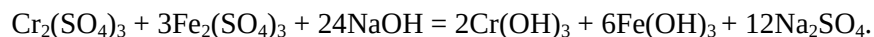
электродиализный и другие. Методы обезвреживания хромсодержащих растворов базируются на использовании разнообразных физико-химических процессов [1–3]. Находят развитие новые подходы и применяются нестандартные технологии для очистки от хрома [4–6]. В большинстве указанных методов используется дорогостоящее оборудование и реактивы. Наиболее простым в реализации и распространенным способом нейтрализации жидких хромсодержащих отходов является реагентный метод, позволяющий осадить ионы хрома и отделить шламовый осадок от фильтрата. При реагентной нейтрализации с наименьшими затратами достигается максимальная степень очистки [7]. В качестве реагентов-восстановителей применяют натриевые соли сернистой кислоты – сульфит, бисульфит и др. Для восстановления шестивалентного хрома также можно использовать сульфат двухвалентного железа (в кислой, нейтральной и щелочной средах), пероксид водорода (в кислой среде), сернистый газ, гидразин (в нейтральной или слабощелочной средах). Каждый из перечисленных реагентов имеет свои преимущества и недостатки. Реагентный метод достаточно прост в реализации и эффективен в широком диапазоне параметров хромсодержащих отходов.

Нейтрализация хромсодержащих растворов сульфитом натрия заключается в восстановлении Cr^{6+} до Cr^{3+} в сильноокислой среде по реакции:



После чего производится осаждение Cr^{3+} и ионов тяжелых металлов в виде их гидроокисей в щелочной среде: $\text{Cr}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$.

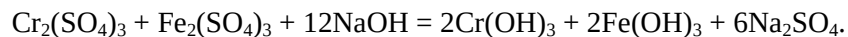
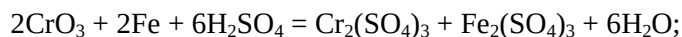
В случае применения сульфата железа (II) реакции восстановления и осаждения хрома протекают по следующим уравнениям:



При этом теоретически необходимый расход реагентов для нейтрализации хромсодержащих отходов очень значителен, а в результате обработки образуется большое количество осадка.

Сульфат двухвалентного железа также находит применение при нейтрализации хромсодержащих стоков методом ферритизации [7]. Очистка сточных вод ферритным методом заключается в сорбции ионов тяжелых металлов магнитными гидроокисями железа, образовании ферритов с последующей топохимической реакцией захвата сорбированных веществ кристаллической решеткой феррита. Ферриты относятся к производным метажелезистой кислоты HFeO_2 . Сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ является основным реагентом для ферритизационной обработки. Авторами работы [8] предложена технология, позволяющая получать ферриты из растворов гальванических стоков в широком диапазоне концентраций металлов и примесей, при этом степень очистки от ионов тяжелых металлов составляет более 99 %.

Использование вместо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ металлического железа (отходы, металлолом) позволяет снизить расход реагентов; реакции в данном случае протекают в соответствии с уравнениями:



Известно, что применение железной стружки, образующейся как отход металлообработки, является достаточно эффективным для восстановления шестивалентного хрома при его невысокой концентрации в стоках. Предварительно подготовленная железная стружка используется в качестве загрузки непосредственно в реакторе, в который поступают хромосодержащие отходы.

В работе [9] предложена система очистки гальваносток с применением металлических отходов (отходы штамповки, стальная стружка). Авторы разработали систему, в которой они получают из металлических отходов электрогенерированный коагулянт. Процесс происходит в электролизере, где в результате анодного растворения металлической стружки образуется суспензия коагулянта. Полученную суспензию авторы называют ферроферригидрозолею; он представляет высокодисперсную твердую фазу из наночастиц в форме золя-геля. Ферроферригидрозолю имеет нечетко определенную композицию и структуру и отличается разнообразием механизмов действия, обладает свойствами сорбента и коагулянта, восстановителя и химического реагента.

Авторы работы [10] определяли условия образования смешанных осадков сульфатов железа и хрома (III), образующихся в результате химического взаимодействия железной стружки с модельными растворами, имитирующими промывную воду из ванн улавливания процесса хромирования, исследовали их структуру и химический состав. В результате определена область соотношений концентраций CrO_3 и серной кислоты, приводящих в присутствии металлического железа к выпадению труднорастворимых порошкообразных осадков.

Большинство работ, посвященных обезвреживанию хромосодержащих растворов, описывают результаты, полученные в лабораторных условиях на специально подготовленных модельных растворах. Кроме того, в большинстве разрабатываемых технологий конечным результатом обезвреживания хромосодержащих отходов становятся обезвоженные чрезвычайно токсичные твердые осадки, смеси гидроксида железа и хрома, которые требуют дальнейшей утилизации. Таким образом, недостатком применения реагентного метода является не только использование большого количества дорогостоящих реагентов, но и образование большого количества осадков (шламов) с повышенным солесодержанием. Шламы относятся к чрезвычайно токсичным отходам и требуют специальной обработки с целью стабилизации или дальнейшей их утилизации. Захоронение шламов на полигонах не является выходом из существующей ситуации. В целом для решения столь сложной проблемы по утилизации хромосодержащих отходов необходим комплексный и системный подход.

В Институте химии ДВО РАН был проведен ряд работ [11] по изучению технологических особенностей реагентной обработки концентрированных и разбавленных хромосодержащих растворов с целью формирования осадка необходимого состава, пригодного для дальнейшей утилизации методом аллюминотермии. Разработан и испытан лабораторный макет опытно-промышленной установки, который позволил осуществлять нейтрализацию хромосодержащих растворов различной концентрации реагентными методами, в том числе растворов ингибиторов, отработанных электролитов, производственных промывных и сточных вод [12]. Лабораторный макет позволил смоделировать промышленные условия в минимальном масштабе, получить навыки применения реагентной технологии, которые использовались при разработке опытно-промышленной конструкции. Производительность разработанного макета составляла 10 л кон-

центрированного раствора за один цикл обработки. На опытно-промышленной установке коэффициент увеличения производительности не превысил 1:250.

В настоящей работе обобщены результаты выполненных исследований, а также приведены результаты испытаний опытно-промышленной установки. При проведении испытаний установки изучались технологические особенности процесса обезвреживания хромосодержащих отходов в производственных условиях, отлаживались оптимальные режимы технологического процесса, проверялась работа основного и вспомогательного оборудования.

За критерии оценки разрабатываемой технологии принимались:

- достижение высокого качества очистки от хрома при переработке больших объемов стоков и высококонцентрированных растворов;
- получение обезвоженных осадков (шламов) пригодных для дальнейшей утилизации или для первичной обработки, накопления, транспортировки, хранения;
- оптимизация экономических показателей, повышение производительности, сокращение времени для проведения одного цикла переработки жидких отходов;
- компактность, надежность оборудования, возможность создания дистанционного управления или автоматизации;
- сохранение экологической безопасности.

Оборудование и технология

Для реализации реагентной технологии в производственных условиях была разработана опытно-промышленная установка модульной конструкции, принципиальная схема которой приведена на рис. 22.1, общий вид на рис. 22.2.

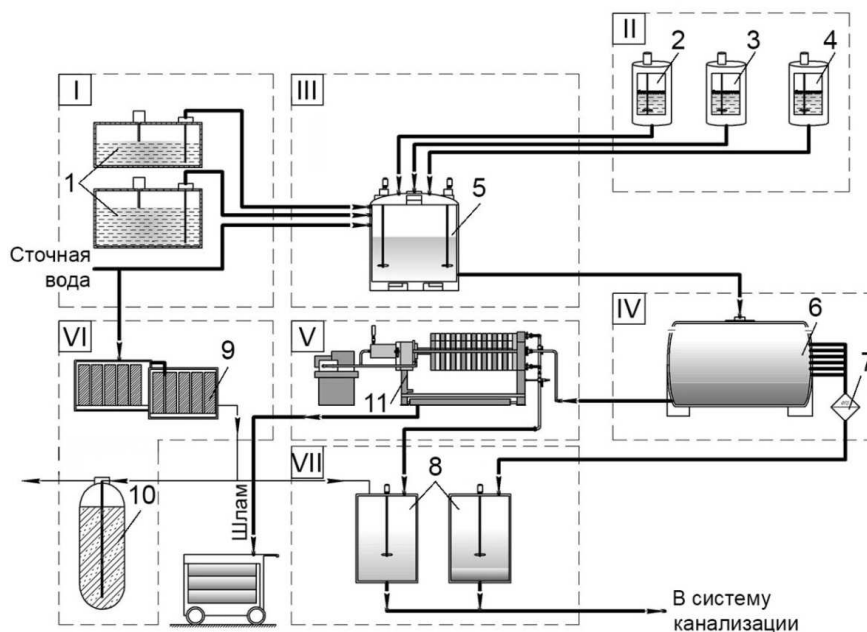


Рис. 22.1. Принципиальная схема опытно-промышленной установки:
 модули: I – накопления и подготовки отходов для обработки; II – подготовки реагентов;
 III – реагентной обработки; IV – осветления и отделения шлама; V – обезвоживания шлама; VI – доочистки; VII – сбора и корректировки фильтрата

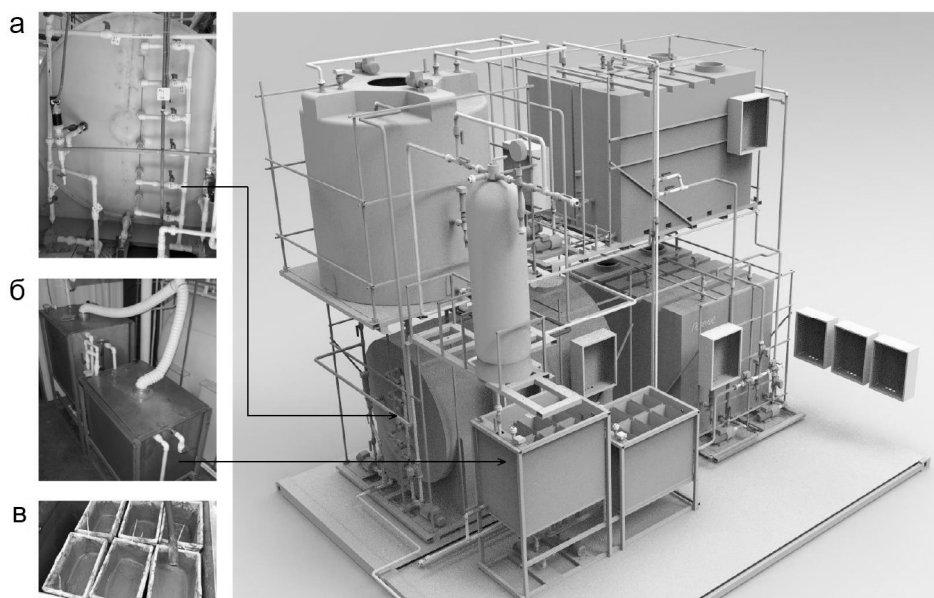


Рис. 22.2. Общий вид опытно-промышленной установки:
а – система послыйного слива осветленного раствора; б – реактор-восстановитель;
в – рукавные фильтры

Установка обеспечивает возможность нейтрализации растворов с применением различных реагентов и позволяет при необходимости осуществлять требуемую настройку и эксплуатацию отдельных узлов, а также различную последовательность подключения каждого модуля. За счет переключения модулей имеется возможность обработки концентрированных отходов (электролитов, ингибирующих растворов), а также очистки сточных и промывных вод при невысоком содержании экологически опасных примесей. Кроме того, при подключении дополнительных модулей возможна очистка сточных вод от масел и нефтепродуктов. Технологический процесс очистки концентрированных растворов производится независимо от режима работы основного оборудования производства. Это обеспечивается за счет предварительного накопления раствора. Установка оснащена пробоотборниками и группой контрольно-измерительных приборов (рН-метрами, уровнемерами, расходомерами, датчиками температуры). Перекачивание обрабатываемых хромсодержащих растворов производится при помощи химических насосов.

Для реагентной обработки жидкие отходы подаются в емкости предварительного накопления растворов (загрузочные емкости) 1, где производится контроль параметров и корректировка состава путем разбавления технической водой. Установка может быть подключена как к напорной линии подачи исходного раствора, так и забирать обрабатываемый раствор из открытых емкостей. В модуле II подготавливаются реагенты: сульфит натрия или сульфат железа в виде 10–20 %-го водного раствора в реагентной емкости 2, 10–20 %-й раствор серной кислоты в емкости 3, 10–30 %-й раствор щелочи в емкости 4. Растворы готовятся при постоянном перемешивании встроенными электромешалками.

Из загрузочных емкостей 1 жидкие отходы при помощи химических насосов перекачиваются в реактор-нейтрализатор 5, в котором осуществляется реагент-

ная обработка в две стадии (восстановление и осаждение); необходимые реагенты подаются при помощи насосов-дозаторов. Постоянное перемешивание среды в реакторе-нейтрализаторе обеспечивается включением двух электрических мешалок и циркуляционного насоса. Для восстановления шестивалентного хрома до трехвалентного в реактор дозируется раствор реагента-восстановителя.

Прореагировавший раствор сливается в реактор-осветлитель 6, где происходит осаждение образующихся в процессе реагентной обработки нерастворимых соединений.

Осветленный раствор по мере осаждения послойно (см. рис. 22.2а) из реактора-осветлителя 6 через фильтр 7 сливается в емкости фильтрата 8. В модуле VII отбираются пробы фильтрата для контроля, при необходимости производится его корректировка, после чего осуществляется слив в систему канализации предприятия. При необходимости дополнительной очистки до норм ПДК, в том числе от остаточных примесей тяжелых металлов, осветленный раствор может перекачиваться в реактор-восстановитель 9 с активной загрузкой или сорбционный фильтр тонкой очистки 10. В качестве активной загрузки в реакторе-восстановителе 9 используются предварительно подготовленные отходы металлообработки (например, железная стружка).

Классическая реагентная технология, реализуемая в данной установке, является эффективной при точном дозировании реагентов, но требует больших расходов дорогостоящих реактивов. Поэтому для нейтрализации хромсодержащих растворов с низкой концентрацией хрома перспективным представляется метод, основанный на применении отходов металлообработки в качестве восстановителя шестивалентного хрома.

Сточные или промывные воды подаются непосредственно в реактор-восстановитель (см. рис. 22.2б) и не проходят другие стадии реагентной обработки. В этом случае предварительно обезжиренная стальная стружка или металлические опилки применяются в качестве активной загрузки.

Реактор-восстановитель представляет собой конструкцию двухступенчатого типа, состоящую из двух отсеков из нержавеющей стали (рис. 22.3). В каждый отсек устанавливаются кассеты с активной загрузкой (металлическая стружка). В процессе обработки первоначально осветленный раствор с низкой концентрацией хрома подается в первый отсек реактора 1, где выдерживается определенное время. В случае недостаточной полноты прохождения реакции в первом отсеке раствор через патрубок поступает во второй отсек реактора 2, где производится его обработка до норм ПДК по содержанию хрома. В процессе обработки происходит растворение железной стружки с образованием двухвалентного железа и последующее окисление двухвалентного железа до трехвалентного. Для успешного протекания процесса в реакторе осуществляется интенсивный барботаж воздуха через слой активной загрузки, в результате чего обеспечивается отвод образующихся продуктов реакции от поверхности стружки. Принудительное барботирование производится путем подачи воздуха необходимого давления от компрессора через воздушные патрубки 3. Для интенсификации процесса обработки в конструкции предусмотрены нагревательные элементы 4. При недостаточной степени дехромации в реакторе-восстановителе предусмотрены вентили переключения на кратковременную работу в замкнутом цикле, а также на возврат очищаемых стоков с помощью химического насоса в загрузочную емкость установки (см. рис. 22.1) для повторной реагентной обработки и далее на сорбционный фильтр тонкой очистки.

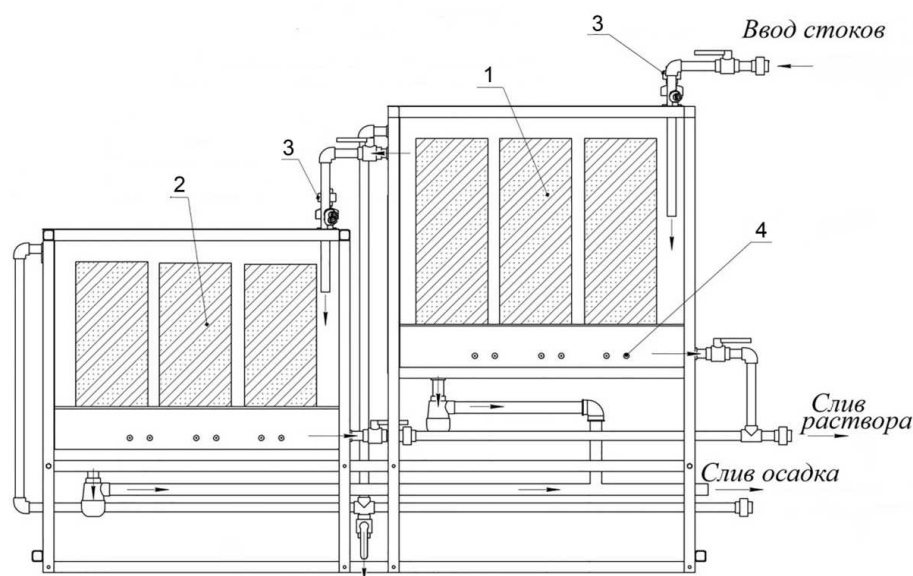


Рис. 22.3. Реактор-восстановитель с активной загрузкой

Опыт показал, что обработка в реакторе с активной загрузкой может производиться в случае необходимости доочистки осветленного раствора до требуемых значений ПДК, кроме того, хромосодержащие растворы (промывные или сточные воды) с незначительной исходной концентрацией Cr^{6+} могут непосредственно обрабатываться только в реакторе с активной загрузкой и не проходить другие стадии обработки.

Шламовый осадок, полученный в результате реагентной обработки, промывается, обезвоживается на рамном фильтр-прессе 11 (см. рис. 22.1) и отправляется для окончательной утилизации. В случае переработки низко концентрированных отходов в небольших объемах количество образующегося осадка незначительно, поэтому для фильтрации возможно использование рукавных фильтров (см. рис. 22.2в).

Результаты и обсуждение

В качестве хромосодержащих растворов, подлежащих обезвреживанию, обрабатывались реальные промышленные отходы с высокой и низкой концентрацией хрома. Были отобраны: отработанный электролит хромирования, раствор ингибитора из цистерн биологической защиты, хромосодержащий раствор после промывки деталей и сточная вода с невысоким содержанием хрома. Электролит и раствор ингибитора отбирались из емкостей хранения на предприятии. Промывные воды отбирались из рабочих ванн на участке гальванической обработки предприятия, сточные воды – из сточного колодца на территории участка.

Химический состав растворов представлен в табл. 22.1. Определение концентрации металлов в пробах проводилось методом атомно-абсорбционного анализа на атомно-абсорбционном спектрофотометре ThermoSolaar M. GF95Z (США); определение концентрации других ионов – методом ионообменной хроматографии при помощи ионообменного хроматографа ICS 5000 DualPump DIONEX DP-5.

Таблица 22.1

Состав технологических растворов, подлежащих нейтрализации

Показатель	Концентрация, мг/л			
	Сточная вода	Промывная вода	Отработанный электролит	Раствор ингибитора
Cr (общ.)	10,76	7919,6	55 238	1720,0
Al	Не обн.	Не обн.	*	< 1,0
Ca	*	*	*	322,8
Cd	< 0,05	21,86	7,86	< 0,01
Cu	< 0,05	192,2	4049,0	< 0,1
Fe (общ.)	0,121	72,84	664,92	Не обн.
Mg	2,16	4,56	592,7	1044,8
Mn	0,0166	Не обн.	*	< 0,1
Na	6,34	33,36	373,04	7895,0
Ni	< 0,5	26,19	2,35	< 0,1
Pb	< 1,0	*	*	< 0,5
Sr	< 0,25	1,68	20,126	9,28
Zn	0,088	109,3	498,2	≈ 0,043
Br ⁻	*	*	*	68,0
F ⁻	*	3760,322	6378,135	30,0
Cl ⁻	*	471,734	142,435	19 400,0
NO ₃ ⁻	*	1142,076	3458,626	Не обн.
SO ₄ ²⁻	*	6178,708	12 963,673	2400,0
PO ₄ ³⁻	*	6,703	79,710	*

Примечание: «*» – содержание не определяли.

Результаты анализа показали, что наиболее опасным элементом в составе всех растворов является хром. В составе определены также высокие содержания магния, кальция (в растворе ингибитора) и натрия, повышенное содержание стронция, а также очень высокие концентрации сульфат и хлорид анионов. Высокая концентрация бромидов в пробе ингибирующего раствора объясняется присутствием в нем морской воды.

Реагентная обработка жидких хромосодержащих отходов осуществлялась с использованием в качестве реагентов-восстановителей сульфита натрия и сульфата двухвалентного железа. Исходя из теоретических доз указанных реагентов, мг/мг Cr⁶⁺, необходимых для восстановления хрома, определялся расход реагента для нейтрализации объема жидкого отхода, загружаемого в реактор-нейтрализатор на один цикла обработки.

Для нейтрализации 2000 л сточной воды расход реагента составил 0,08 кг Na₂SO₃/ 0,34 кг FeSO₄; для 2000 л промывной воды – 57,5/253,4; для 500 л отработанного электролита – 100,3/442; для 2500 л раствора ингибитора – 15,6/68,8 соответственно.

При проведении реагентной обработки с использованием Na_2SO_3 для достижения наибольшей скорости реакции и полноты ее прохождения необходимо поддерживать уровень pH среды 2–2,5. При обработке электролита подкисления не требовалось. В случае нейтрализации промывных, сточных вод и раствора ингибитора необходимо подкисление раствора. С этой целью использовали 10%-й водный раствор H_2SO_4 , который дозировали до достижения $\text{pH} = 2 \dots 2,5$. Время выдержки в реакторе для перевода шестивалентного хрома в трехвалентный составляло 30 мин. После выдержки осуществлялось подщелачивание раствором NaOH до величины $\text{pH} > 7$, при этом трехвалентный хром осаждался в виде гидроксида. При использовании FeSO_4 в качестве реагента-восстановителя подкисления не требовалось.

После реагентной обработки из емкости фильтрата без дополнительной доочистки в реакторе-восстановителе и адсорбционном фильтре отбирались пробы для определения концентрации металлов и ионов. Анализ результатов показал, что при обработке отходов гальванического производства во всех пробах содержание хрома (трехвалентного и шестивалентного) в отфильтрованном растворе соответствовало нормам ПДК. После нейтрализации отработанного электролита содержание хрома в фильтрате снизилось до 0,029 мг/л; в пробе промывной воды – до 0,01 мг/л, а в пробах сточной воды хром не обнаружен. При обработке раствора ингибитора с использованием сульфата железа в качестве реагента-восстановителя очистка более эффективна; содержание хрома в фильтрате значительно ниже (0,067 мг/л), чем при использовании сульфита натрия (0,193 мг/л), при этом содержание железа в фильтрате незначительно повышается. При обработке сульфатом железа в фильтрате также значительно снижается содержание других элементов, металлов: стронция с 9,28 до 1,14 мг/л; кальция и магния. Однако содержание кальция и магния в фильтрате очень значительно, что свидетельствует о высокой жесткости раствора, обусловленной главным образом ионами этих металлов. Кроме того, в результате проведения реакций восстановления и осаждения во всех случаях в фильтрате значительно повышается содержание Na , Cl^- , SO_4^{2-} . Известно, что присутствие хлоридов и сульфатов также связано с жесткостью. Для удаления жесткости и сброса отфильтрованного раствора в систему канализации предприятия необходимо проводить его дальнейшую корректировку до норм ПДК, снижать общее солесодержание, умягчать фильтрат, снижать содержание ионов кальция и магния.

При проведении испытаний по очистке хромсодержащих стоков железной стружкой представлялось интересным проверить возможность очистки высокотемпературных стоков гальванического производства, образующихся в результате промывки деталей после хромирования в ваннах горячей промывки. С этой целью реальный хромсодержащий сток с концентрацией хрома в растворе 10,76 мг/л при температуре 90 °С подавали в реактор-восстановитель с активной загрузкой. Хромсодержащий сток выдерживался определенное время в слое. Через установленные временные интервалы отбирались пробы для анализа на содержание Cr^{6+} . На графике (рис. 22.4) приведены результаты определения содержания хрома и замера температуры в реакторе-восстановителе для отдельных точек на момент отбора пробы. Максимальное снижение концентрации Cr^{6+} до уровня 0,15 мг/л происходит в течение 60 мин. В дальнейшем восстановление до уровня ПДК протекало не более 3 ч. При этом необходимо учитывать, что подогрев среды в реакторе не производился, а происходило произвольное снижение температуры горячего стока до 31 °С в процессе выдержки в реакторе.

После реагентной нейтрализации хромсодержащих отходов, в особенности концентрированных, образуется значительное количество осадков, подлежащих утилизации. Для определения условий фильтрации и получения более точных данных по скорости процесса и выбору фильтровального материала были проведены предварительные опыты при заданных производственных условиях.

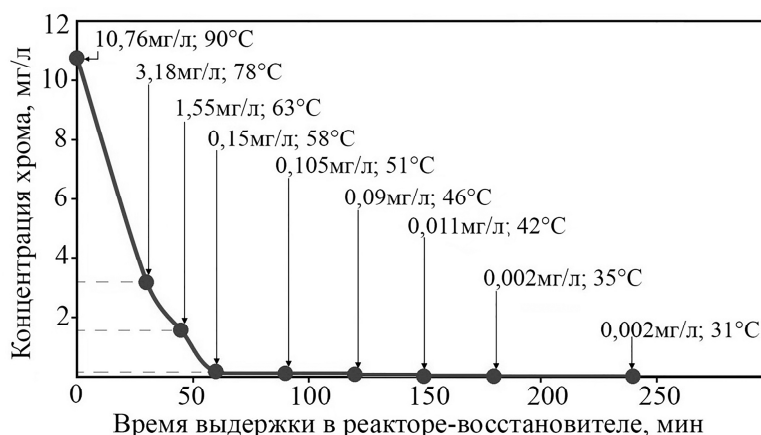


Рис. 22.4. Результаты очистки хромсодержащего стока из ванны горячей промывки в реакторе-восстановителе с активной загрузкой

Результаты показали, что при использовании сульфита натрия в качестве реагента-восстановителя гидроксид хрома образует хорошо оседающие фракции; полученный осадок представляет плотную суспензию, в дальнейшем хорошо промывается и отфильтровывается.

При обработке сульфатом железа значительно увеличивается объем осадка (более чем в три раза). В отфильтрованном растворе происходит повторное образование мельчайших хлопьев $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в результате того, что гидрат закиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$, полученный в процессе нейтрализации, при доступе кислорода воздуха постепенно окисляется в гидрат окиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. В первый момент эти вещества образуют с водой коллоидный раствор; затем коллоидные частицы гидрозакиси и гидроокиси коагулируют с образованием пористых хлопьев. Осадок приобретает густую илистую консистенцию с мелкодисперсными медленно оседающими хлопьями. Сгущение такого осадка при свободном отстаивании в реакторе-осветлителе медленнее и последующая фильтрация затруднительней, так как происходит засорение пор в фильтре. При этом повышение давления мало влияет на скорость фильтрации и может достигнуть критического, когда скорость фильтрации резко уменьшается, в связи с этим сложнее подобрать фильтровальное полотно.

Для определения возможности глубокой переработки полученного осадка необходима комплексная оценка его свойств. Промытый и отфильтрованный осадок был высушен при температуре 200 °C до получения сухого шлама. Промывка необходима для удаления растворимых соединений, которые в дальнейшем затрудняют переработку обезвоженного осадка.

Для последующей утилизации полученного шлама методом алуминотермии необходимо осуществить его подготовку к реакции алуминотермического восстановления, которая заключается в его термообработке (прокаливании) с целью

удаления свободной и связанной воды с образованием оксидов. Для определения режима термообработки были выполнены термогравиметрические исследования. Состав образующихся оксидов определен рентгенофазовым анализом отобранных образцов шлама на автоматическом рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Cu K α -излучение).

Результаты анализа пробы, полученной после обработки отработанного электролита сульфитом натрия, показали, что с ростом температуры прокаливания и времени выдержки пробы уменьшается число различных фаз и увеличивается количество оксидов, пригодных к алуминотермическому восстановлению. При максимальной температуре прокаливания 1100 °С и выдержке в течение 60 мин образуется оксид хрома и оксид железа по типу шпинели (Cr_2O_3 и CuFe_5O_8), где атомы железа частично замещены атомами меди. Оба оксида пригодны к алуминотермическому восстановлению и извлечению восстановленных металлов в виде металлического слитка.

Результаты рентгенофазового анализа пробы, полученной после нейтрализации отработанного электролита сульфатом двухвалентного железа и термообработанной при температуре 900 °С, показали присутствие соединений хрома. По результатам анализа на стационарном энергодисперсионном флуоресцентном рентгеновском спектрометре EDX-800 HS был определен элементный состав образца и произведен перерасчет содержания хрома на его соединения, а железа и меди на оксиды. Содержание составило: для $\text{Cr}_4\text{Fe}_2\text{O}_9$ – 27,113%; для Fe_2O_3 – 71,214%; для CuO – 1,341 %. Таким образом, количество оксидов в шламе, способных восстановиться до металла в процессе алуминотермической реакции, составляет 99,668 %.

Результаты рентгенофазового анализа пробы осадка, полученной после нейтрализации раствора ингибитора с использованием в качестве реагента сульфата железа и термообработанной при температуре 1000 °С, свидетельствует о присутствии оксидов железа и соединений хрома в значительном количестве (рис. 22.5). Это также предполагает возможность обработки таких осадков алуминотермическим восстановлением.

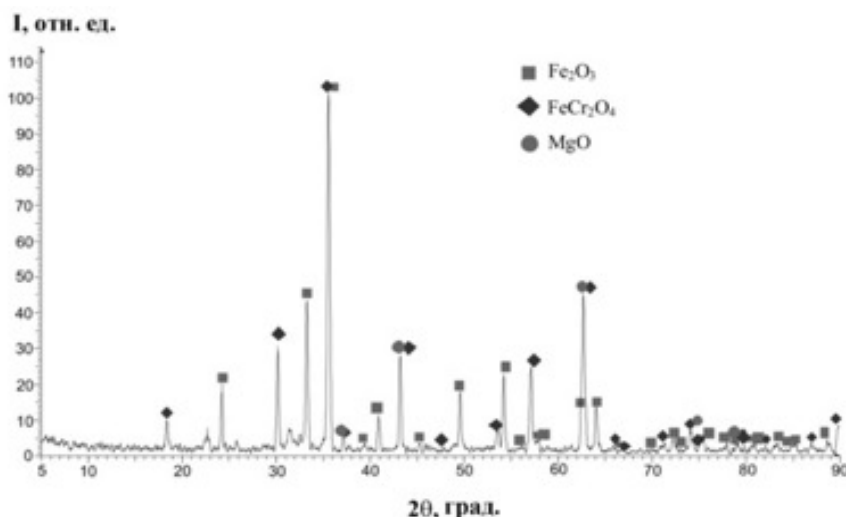


Рис. 22.5. Фазовый состав осадка после реагентной обработки раствора ингибитора сульфитом натрия и прокаливания при температуре 1000 °С

Заключение

Таким образом, результаты работы показывают, что принцип подхода к обезвреживанию концентрированных хромсодержащих растворов (отработанный электролит) может быть аналогичен методам, применяемым для утилизации растворов с низким содержанием хрома (сточная вода). Применение сульфата натрия и сульфата двухвалентного железа в качестве реагентов-восстановителей является эффективным; при точном дозировании реагентов содержание хрома в отфильтрованном растворе соответствует нормам ПДК. Высокая степень минерализации фильтрата после обработки раствора ингибитора связана не только с выбранной технологией реагентной обработки, но и с присутствием в составе ингибитора морской воды. С целью снижения солесодержания раствора до норм предельно допустимых концентраций для сброса в систему канализации необходимо определить рациональные способы корректировки состава.

Опытно-промышленная установка позволяет нейтрализовать хромсодержащие отходы производства различной концентрации реагентными методами, и дает возможность совместного применения традиционных реагентов и отходов металлообработки. Подготовленные отходы металлообработки используются в качестве активной загрузки в реакторе-восстановителе и рекомендуются как дополнительная ступень в процессе реагентной очистки. Растворы с низким содержанием хрома могут обрабатываться в реакторе-восстановителе в одну стадию и не проходить другие этапы реагентной обработки. Преимущества использования железной стружки для восстановления шестивалентного хрома связаны с их доступностью, простотой применения и эксплуатации, отсутствием расходов на закупку реагентов. Расходы связаны только с проведением операций подготовки стружки (обезжиривание и при необходимости измельчение).

В соответствии с разработанной технологической схемой по окончании реагентной обработки нейтрализованные растворы (фильтраты), соответствующие нормам ПДК, сливаются в систему канализации предприятия. Обезвоженные осадки (шламы) отправляются для дальнейшей утилизации путем алюминотермического восстановления. В результате можно получить продукты, безопасные для окружающей природной среды и пригодные к дальнейшему использованию.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН, тема № 0205–2022–0002.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Долина, Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2008. – 254 с.
2. Sowmya, T.P. Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by chemical treatment / T.P. Sowmya, G.K. Mahadevraju, A. Ramesh, V. Sreenivas // International journal of innovative research & development. – 2013. – Vol. 2, no. 5. – P. 1440–1446.
3. Dermentzis, K. Removal of hexavalent chromium from electroplating wastewater by electrocoagulation with iron electrodes / K. Dermentzis, A. Christoforidis, E. Valsamidou [et al.] // Global NEST Journal. – 2011. – Vol. 13, no. 4. – P. 412–418.

4. Barakat, M.A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater / M.A. Barakat // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2011. – Vol.4, no. 4. – P. 361–377.
5. Erdem, M. Hexavalent chromium removal by ferrochromium slag / M. Erdem, H. Soner Altundogan, M. Deniz Turan, Fikret Tumen // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – Vol. 126. – P. 176–182.
6. Mnif, A. Hexavalent chromium removal from model water and car shock absorber factory effluent by nanofiltration and reverse osmosis membrane / A. Mnif, I. Bejaoui, M. Mouelhi, B. Hamrouni // *International Journal of Analytical Chemistry*. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1–10. – URL: <https://doi.org/10.1155/2017/7415708>
7. Виноградов, С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов. – Москва: Глобус, 1998. – 302 с.
8. Сажин, В.Б. Технология «безэлектролизной ферритизации» для очистки промышленных гальванических стоков / В.Б. Сажин, А.Б. Половников // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2010. – Т. XXIV, № 8 (113). – С. 118–122.
9. Будиловскис, Ю.Я. Технология глубокой очистки стоков и утилизации отходов. / Ю.Я. Будиловскис // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. – 2006. – № 2. – С. 32–34.
10. Фазлутдинов, К.К. Структура и состав осадков при восстановлении хрома (VI) железной стружкой в сернокислых растворах / К.К. Фазлутдинов, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева // *Бутлеровские сообщения*. – 2014. – Т. 37, № 2. – С. 10–17.
11. Tsybulskaia, O.N. Reagent decontamination of liquid chrome-containing industrial wastes / O.N. Tsybulskaia, T.V. Ksenik, A.A. Yudakov, V.V. Slesarenko // *Environmental Technology and Innovation*. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–10.
12. Цыбульская, О.Н. Обезвреживание хромсодержащих отходов гальванического производства / О.Н. Цыбульская, Т.В. Ксеник, А.А. Юдаков [и др.] // *Вестник ДВО РАН*. – 2015. – № 4. – С. 104–112.

Информация об авторах

Цыбульская Оксана Николаевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: ont55@mail.ru

Ксеник Татьяна Витальевна, научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: tksenic2609@mail.ru

Юдаков Александр Алексеевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: etcih@mail.ru

Буравлев Игорь Юрьевич, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН. E-mail: buravlev.i@gmail.com

Волков Дмитрий Анатольевич, ведущий инженер, Институт химии ДВО РАН. E-mail: wolf_da@bk.ru

Кисель Алексей Альфредович, ведущий инженер, Институт химии ДВО РАН. E-mail: musson_k@mail.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 22. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PROCESSES FOR INDUSTRIAL CHROMIUM CONTAINING WASTE PROCESSING

**Oksana N. Tsybulskaya¹, Tatiana V. Ksenik¹, Alexander A. Yudakov¹,
Igor Yu. Buravlev¹, Dmitry A. Volkov¹, Alexey A. Kisel¹**

Abstract. *A practical approach to the problem of neutralizing liquid chromium-containing wastes of various concentrations during the processing of large volumes of solutions under industrial conditions is considered. A pilot plant for the implementation of the technological process is presented. Technological features are described in the processing of chromium plating electrolytes and inhibitor solutions at the stages of precipitation of hexavalent chromium and filtration of the resulting precipitate. The results of analysis of the composition of the filtrate and dehydrated sludge are presented.*

Keywords: *pilot plant; reagent treatment; chromium-containing waste; inhibitor solution; spent electrolyte.*

Information about authors

Oksana N. Tsybulskaya, Ph.D., Senior researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: ont55@mail.ru

Tatiana V. Ksenik, Researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: tksenik2609@mail.ru

Alexander A. Yudakov, Dr.Sc., Chief researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: etcih@mail.ru

Igor Yu. Buravlev, Ph.D., Senior researcher, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: buravlev.i@gmail.com

Dmitry A. Volkov, Lead engineer, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: wolf_da@bk.ru

Alexey A. Kisel, Lead engineer, Institute of Chemistry FEB RAS. E-mail: mus-son_k@mail.ru

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

Глава 23. МАГНИТНЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА СТРУКТУРЫ НОЗЕАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ

Е.К. Папынов¹, О.О. Шичалин¹, А.Н. Драньков¹, В.Ю. Майоров¹,
В.С. Печников¹, А.И. Иванец², И.Ю. Буравлев¹, А.В. Огнев¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-256-276>

Аннотация. Представлены результаты исследования по разработке способа получения наноструктурированного магнитного композита на основе цеолита структуры нозеана с высокими адсорбционными характеристиками по отношению к ионам цезия и стронция. Оптимальные условия гидротермального синтеза были установлены на основании данных РФА, РЭМ, ЭДС, магнитометрии и экспериментальных данных по адсорбции в статических условиях. Показана роль химического состава, текстурных характеристик и морфологии поверхности. На основе моделирования изотермы адсорбции предложен монослойный ионообменный механизм. Наибольшая адсорбционная способность по Ленгмюру, составляющая 229,6 и 105,1 мг/г по отношению к ионам цезия и стронция, была достигнута для композита, полученного при гидротермальной обработке 90 °С. Показано, что магнитные характеристики цеолитных композитов позволяют отделить отработанные адсорбенты с помощью магнитной сепарации.

Ключевые слова: цеолит; магнитный композит; гидротермальный синтез; очистка воды; радионуклиды.

Неорганический синтез функциональных материалов для задач радиохимии вносит важный вклад в повышение эффективности и безопасности технологий обращения с радиоактивными отходами (РАО), что связано с потребностями в разработке и производстве высокоэффективных сорбентов для извлечения радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из газовых и жидких сред [1–4]. Это наиболее радиационно опасные изотопы с длительным периодом полураспада, которые представляют основу облученного ядерного топлива и вносят основной вклад по удельной активности в состав РАО [5, 6]. Риск их возможного попадания в окружающую среду представляет особую угрозу радиационного заражения больших территорий ввиду их высокой миграционной способности в воздухе, воде и почве [7].

Технологии очистки жидких сред от ^{137}Cs и ^{90}Sr с высокой степенью эффективности реализуются на основе сорбционных процессов, в том числе с использованием ионообменных синтетических цеолитов [8–10]. Это неорганические материалы алюмосиликатного состава со специфической каркасной структурой, состоящей из тетраэдрического диоксида кремния и оксида алюминия, разделенных атомами кислорода, включающей ионообменные катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} [11–13]. Цеолиты обладают высокопористой структурой [14], радиационной [15] и термической [16] стабильностью, высокой ионообменной емкостью, возможной селективностью по отношению к ряду радионуклидов, как детально

¹ Институт наукоемких технологий и перспективных материалов, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

² Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, 220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Сурганова, 9/1.

описано в широком обзоре Jiménez-Reyes [et al.] [17]. Сорбционная эффективность синтетических цеолитов для извлечения ^{137}Cs и ^{90}Sr также была оценена в ряде работ [18–21], что доказало перспективность такого рода сорбентов. Так, например, подобные сорбенты нашли практическое применение в ходе устранения последствий аварии на АЭС Фукусима-1 в 2011 г. в Японии на стадии предварительной очистки загрязненной морской воды, используемой для дополнительного охлаждения аварийных энергоблоков станции [22, 23]. Кроме того, цеолиты являются превосходными кандидатами для формирования плотных керамических и стеклокерамических матриц для отверждения отработанных форм сорбентов с целью надежной и безопасной иммобилизации радионуклидов [24–27] и изготовления радиоизотопных изделий [28].

В последнее время значительное внимание исследователей было уделено синтезу наноразмерных кристаллических цеолитов с целью увеличения площади удельной поверхности, изменения конфигурации пористой структуры, а также изменения химического состава [29]. В этом случае достигалась возможность импрегнирования требуемых ионообменных катионов с повышением их концентрации в составе сорбента, увеличением их проникающей способности и скорости диффузии при обмене с другими катионами из растворов.

Несмотря на указанные преимущества высокодисперсных цеолитов, существует серьезная проблема их отделения от очищаемого раствора. Традиционный способ высокопроизводительного центрифугирования является длительным и дорогостоящим в реализации, а также не всегда приводит к требуемому результату и в некоторых случаях обуславливает применение дополнительных методов разделения, что может даже привести к образованию вторичных отходов. В качестве альтернативы предлагается использовать метод магнитной сепарации, который более эффективен, прост и быстр в реализации [30]. Однако данный метод применим только к тем сорбентам, которые способны намагничиваться во внешнем магнитном поле и обладают достаточным магнитным моментом, чтобы могут быть управляемыми при его наложении.

Подобными примерами сорбентов с магнитными свойствами являются композитные материалы на основе цеолитов в составе с магнитными фазами, например с оксидами железа или металлическим железом. В частности, Bourlinos [et al.] модифицировали внешнюю поверхность цеолита Y в гидротермальных условиях маггемитом и использовали полученный материал для адсорбции Hg^{2+} [31]. Способ прямого осаждения маггемита на поверхности цеолита NaY был предложен Oliveira [et al.] [32] для сорбции катионов Cr^{3+} , Cu^{2+} и Zn^{2+} из водных сред. Faghihian [et al.] [33] синтезировали магнитный композит посредством химического соосаждения Fe^{2+} и Fe^{3+} в присутствии цеолита A и оценивали эффективность адсорбции Cs^+ и Sr^{2+} . Метод импрегнирования наночастиц металлического железа в объем цеолита был описан в Falyouna [et al.] [34] и успешно применен для сорбции Cs^+ из растворов. Наноразмерные магнитные цеолиты также были синтезированы и изучены в таких работах, как Eljamal [et al.] [35], Shubair [et al.] [36] и Rahman [et al.] [37], путем схожих методов восстановительного осаждения магнитных наночастиц железа в присутствии коммерческого цеолита; Faghihian [et al.] [38] – методом мокрого синтеза при смешении растворов прекурсоров, формирующих цеолит A в составе с наночастицами магнетита; O.A. Abdel Moamen et al. [39] – через импрегнирование наночастиц магнетита в объем наноразмерных частиц цеолита Y, предварительно полученного в гидро-

термальных условиях. В данных работах показано, что селективное извлечение Cs^+ и (или) Sr^{2+} как имитаторов нестабильных изотопов данных элементов протекает эффективно с учетом состава очищаемой среды, а также с сохранением магнитных характеристик материалов, управляемых внешним магнитным полем, что доказывает высокую практическую перспективность таких сорбентов.

Одним из представителей алюмосиликатов семейства цеолитов, имеющих каркасное строение, является нозеан – сульфатная форма цеолита $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6(\text{SO}_4)$ с промежуточной каркасной структурой между хорошо известными цеолитами содалитом и канкринитом [40]. Структура нозеана типичная для алюмосиликатов; состоит из чередующихся тетраэдров $(\text{SiO}_4)^{-4}$ и $(\text{AlO}_4)^{-5}$, формирующих β -каркас из четырех- и шестичленных колец, где в полостях каркаса присутствуют ионообменные катионы и вода, в том числе с дополнительным анионом $(\text{SO}_4)^{2-}$ [41, 42]. Данные параметры указывают на очевидную склонность нозеана к ионообменной сорбции с селективностью по отношению к цезию и стронцию, аналогично различным и широко известным цеолитовым формам. Однако исследования по применению нозеана в качестве сорбента представлены в литературе очень ограниченно. Известны работы по сорбции катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} [43] и некоторых органических загрязнителей [44] из водных сред, которые были опробованы для очистки газовых выбросов [45]. Исследования по синтезу и изучению свойств магнитных композитов нозеана, в том числе для сорбции радионуклидов, в открытой литературе отсутствуют.

В связи с этим количество предлагаемых методов по синтезу наноразмерных композитов на основе цеолитов ограничено, а взаимосвязь между условиями синтеза, физико-химическими характеристиками, магнитными и сорбционными свойствами не изучена в достаточной степени.

Таким образом, целью настоящей работы явился гидротермальный синтез наноструктурированного магнитного цеолита нозеана в составе с фазой магнетита (Fe_3O_4). Новизна работы заключается: в разработке нового способа синтеза полученных композитов, отличающегося простотой реализации; в исследовании влияния условий термической обработки при осуществлении синтеза на состав, кристаллическую и пористую структуру, сорбционные и магнитные свойства композитов; в экспериментальном подтверждении высокой эффективности полученных магнитных сорбентов для очистки жидких сред от радионуклидов цезия и стронция.

Материалы и методы

Реактивы. Синтез наноструктурированных сорбентов на основе синтетического цеолита нозеана и оксида железа проводили методом совместного осаждения (методом Массара) [46] с использованием раствора $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и соли Мора $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В качестве стабилизатора получаемых наночастиц железа использовали моноэтиленгликоль. Получение цеолита проводили с использованием силиката натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, алюмината натрия NaAlO_2 . Все реактивы были поставлены Sigma-Aldrich, чистота – 99,9 %.

Методика синтеза. Синтез магнитных композитов на основе цеолита проводили в две стадии: первоначально получали наночастицы магнетита (Fe_3O_4) методом совместного осаждения в водно-гликолевом растворе; далее проводили гидротермальную кристаллизацию алюмокремнегеля по следующей схеме. К разбавленному водному раствору моноэтиленгликоля (соотношение МЭГ: вода

1:1) объемом 120 мл при нагревании (80 °С) и постоянном перемешивании на магнитной мешалке добавляли порошки в количестве 12 ммоль $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 8,3 ммоль $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Далее по каплям приливали 35 мл 24%-го раствора аммиака и оставляли на 20 мин при перемешивании. К полученному раствору поочередно приливали 17,2 мл 2 М раствора $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и 52,8 мл 0,325 М раствора NaAlO_2 . Полученный раствор оставляли на 30 мин при перемешивании. Температура раствора в течение всего синтеза поддерживалась в пределах 75–85 °С. Далее его переливали в автоклав объемом 250 мл и выдерживали при температуре 90, 120, 150, 180 °С и давлении 70,12; 198,48; 475,72; 1001,9 кПа соответственно в течение 6 ч. Затем полученный осадок черного цвета отфильтровывали, промывали дистиллированной водой до нейтральной среды фильтрата и сушили при температуре 90 °С в течение 4 ч.

Характеристика методов исследования. Идентификацию фаз полученных образцов осуществляли с помощью рентгенофазового анализа (РФА) на рентгеновском дифрактометре D8 Advance “Bruker-AXS” (Германия), $\text{CuK}\alpha$ -излучение, Ni-фильтр, средняя длина волны (λ) – 1,5418 Å, диапазон углов съемки – 10–80°, шаг сканирования – 0,02°, скорость регистрации спектров – 5 °С/мин. Определение удельной поверхности осуществляли на приборе Quantochrome (США) методом физической адсорбции-десорбции азота при температуре 77 К; данные обсчитывали по методу БЭТ. Анализ фильтратов на содержание цезия и стронция определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 “Shimadzu” (Япония); ошибка определения не превышала 5%. Изображения поверхности образцов были получены с помощью растрового электронного микроскопа Carl Zeiss Ultra 55 (РЭМ, Германия) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа (ЭДС) “Bruker” (Германия). Магнитные характеристики исследовались на вибромагнетометре (VSM), входящем в станцию по измерению физических свойств вещества (PPMS) фирмы “Quantum Design” (США), а также на LakeShore 7401 VSM (США).

Исследование статической сорбции. Исследование сорбционных свойств образцов магнитных композитов, полученных при различной температуре гидротермального синтеза, проводили в условиях статической сорбции стабильных изотопов цезия и стронция из дистиллированной воды. Изотермы сорбции получали с использованием растворов с различной концентрацией стабильных изотопов цезия (CsCl) и стронция ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$); значение pH жидких сред составляло $6,0 \pm 0,5$. Исходная концентрация ионов стабильного цезия и стронция в модельных растворах составляла 150 мг/л.

Эксперимент проводили по следующей схеме. Навеску сорбента 10 мг помещали в пробирку Эппендорфа и приливали 10 мл раствора стабильного цезия или стронция ($T:Ж = 1/1000$). Серия пробирок закреплялась на вертикальном шейкере и примешивалась со скоростью 20 об./мин. Сорбция осуществлялась в течение 48 ч. После этого раствор отделялся от отработанного сорбента с помощью фильтра «синяя лента» и определялось остаточное содержание стабильных ионов цезия и стронция методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Расчет степени очистки (CO , %) проводили согласно формуле

$$CO = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \cdot 100\%, \quad (23.1)$$

где C_0 – исходная концентрация Cs^+ и Sr^{2+} в растворе, мг/л; C_1 – концентрация Cs^+ и Sr^{2+} в растворе после сорбции, мг/л.

Механизм сорбции оценивали на основании изотерм сорбции Cs^+ и Sr^{2+} , представляющих зависимость количества адсорбированного вещества от концентрации раствора при постоянной температуре. При описании изотерм сорбции использовали общеизвестные модели сорбции на границе твердый/жидкий:

– уравнение Фрейндлиха:

$$\Gamma = K_f \cdot C^m, \quad (23.2)$$

где C – равновесная концентрация Cs^+ и Sr^{2+} , мг/л; K_f – константа Фрейндлиха, характеризующая относительную адсорбционную способность и представляющая собой величину адсорбции при равновесной концентрации, равной единице; m – показатель неоднородности обменных центров, характеризующий изменение теплоты адсорбции в зависимости от степени их заполнения;

– уравнение Ленгмюра:

$$\Gamma = G_{\max} \frac{K_1 \cdot C}{1 + K_1 \cdot C}, \quad (23.3)$$

где $G_{\max}$ – значение предельной сорбции, мг/г; C – равновесная концентрация Cs^+ и Sr^{2+} , мг/л; K_1 – константы адсорбционного равновесия, характеризующие энергию связи адсорбент-адсорбат;

– комбинированное уравнение Ленгмюра – Фрейндлиха (4):

$$\Gamma = G_{\max} \frac{K_{1f} \cdot C^m}{1 + K_{1f} \cdot C^m}, \quad (23.4)$$

где $G_{\max}$ – значение предельной сорбции, мг/г; C – равновесная концентрация Cs^+ и Sr^{2+} , мг/л; K_{1f} – константы адсорбционного равновесия, характеризующие энергию связи адсорбент-адсорбат; m – показатель неоднородности обменных центров, характеризующий изменение теплоты адсорбции в зависимости от степени их заполнения. Аппроксимацию экспериментальных данных указанными уравнениями в нелинейной форме проводили с использованием программы «SciDavis».

Результаты и обсуждение

В ходе гидротермального синтеза были получены порошки магнитного композита при различной температуре, фазовый состав которых представлен на рис. 23.1. Согласно данным РФА основной кристаллической фазой всех образцов является магнетит (Fe_3O_4). Кристаллическая фаза алюмосиликата проявляется на рентгенограмме только для образца, полученного при температуре 180 °C см (рис. 23.1а). Данная фаза идентифицирована как карбонатная форма каркасного алюмосиликата нозеана $Na_8[AlSiO_4]_6(CO_3)$ [47]. При детальном сравнении результатов рентгеновской дифракции для образца, полученного при температуре 180 °C с дифрактограммами эталонных кристаллических фаз видно, что основные дифракционные максимумы 2θ 13,9°, 24,2° и 34,5° соответствуют $Na_8[AlSiO_4]_6(CO_3)$, наряду с остальными, которые сопоставимы с дифракционной картиной Fe_3O_4 (см. рис. 23.1б).

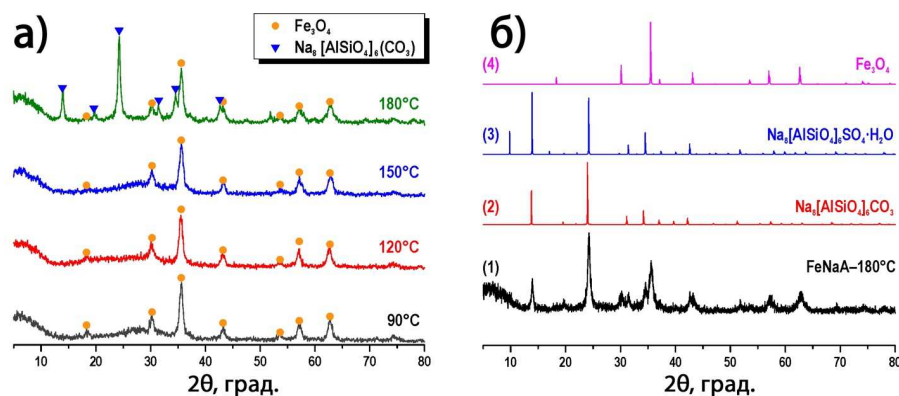


Рис. 23.1. Дифрактограммы образцов наноструктурированных магнитных композитов: а – образцы, полученные при различных температурах гидротермального синтеза; б – сравнение экспериментального образца, полученного при температуре 180 °С с соответствующими эталонными структурами

С целью визуализации кристаллических структур полученных алюмосиликатных соединений были построены их структурные 3D-модели (рис. 23.2) с использованием программного обеспечения VESTA [48]. Параметры элементарной ячейки синтезированной карбонатной формы нозеана совпадают с расчетными и соответствуют кубической форме $a = b = c = 9,001 \text{ \AA}$, в то время как для сульфатной формы расчетные параметры соответствуют кубической форме $a = b = c = 9,084 \text{ \AA}$. Согласно полученным моделям видно, что плотность упаковки атомов в кристаллической решетке сульфатной формы несколько выше по сравнению с карбонатной.

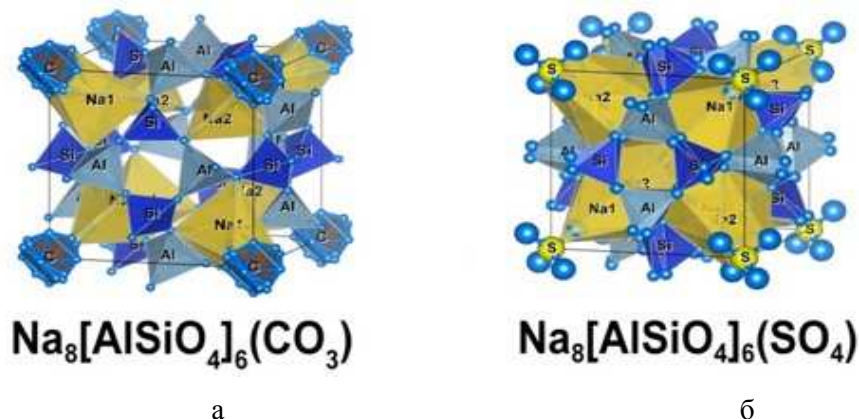


Рис. 23.2. Модельные изображения кристаллических структур карбонатной (а) и сульфатной (б) формы каркасного алюмосиликата нозеана

Согласно данным РЭМ (рис. 23.3), структура полученных образцов магнитных композитов представлена наноразмерными (значительно менее 50 нм) частицами сферической формы, агломерированными между собой. По результатам исследования видно, что при повышении температуры гидротермального синтеза размер данных наночастиц увеличивается. Морфология поверхности образца магнитного цеолита, полученного при температуре 180 °С, значительно отлича-

ется (см. рис. 23.3г, г*). Частицы агломерируются в крупные образования сферической формы, поверхность которых структурирована кристаллитами с ровными гранями. Это, вероятно, обусловлено образованием кристаллического алюмосиликата из аморфной фазы, как было показано на РФА для данного образца (см. рис. 23.1).

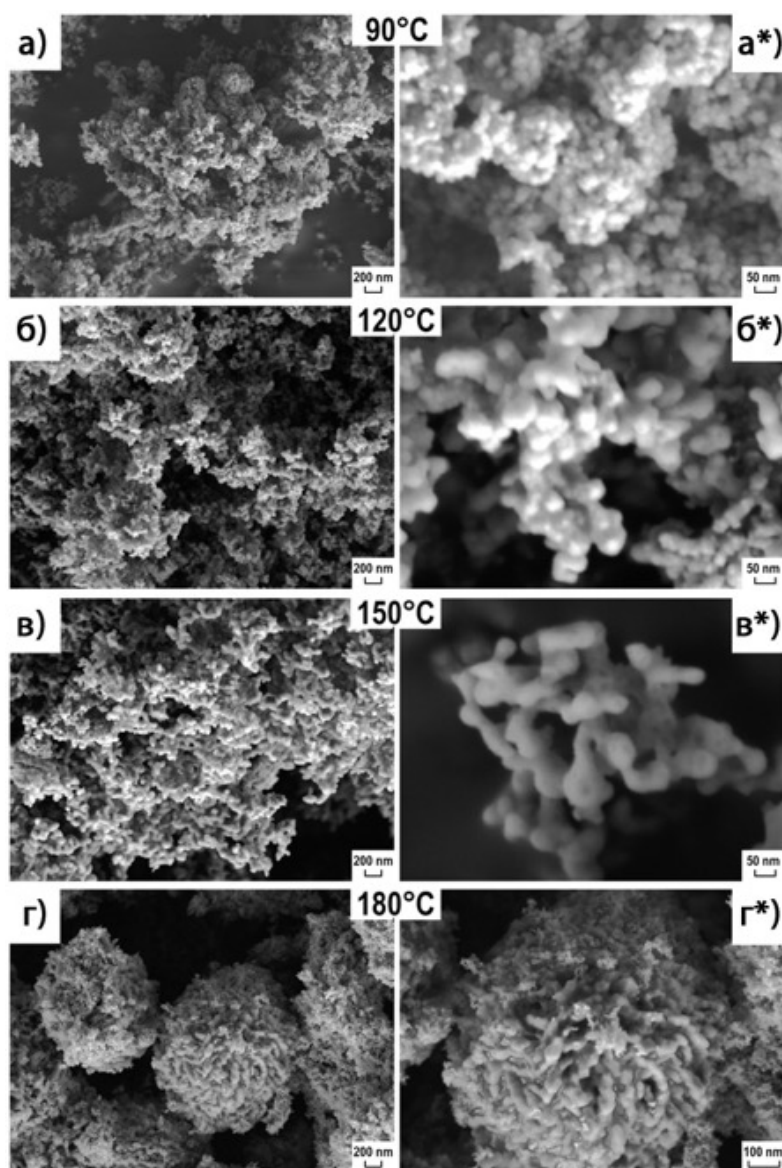


Рис. 23.3. РЭМ изображения образцов наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза

По данным элементного анализа, проведенного методами РФС и ЭДС (табл. 23.1) было установлено, что количественное отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ варьируется в пределах 1,4–1,9, что соответствует структуре цеолита типа А. Соотношение магнетита и алюмосиликата сохраняется в пределах 1:3.

Таблица 23.1

Содержание оксидных фаз магнитных композитов, полученных гидротермальным методом при различных температурах

Т _{синтеза} , °С	Рентгенофлуоресцентный анализ, масс. %				ЭДС анализ, масс. %			
	Fe ₃ O ₄	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃
90	25,9	13,3	36,0	24,8	22,5	15,8	39,9	21,8
120	25,0	15,7	34,8	24,6	24,3	15,6	38,7	21,4
150	24,6	15,7	35,1	24,6	25,5	15,5	37,8	21,2
180	23,0	18,9	34,8	23,3	24,4	18,7	36,3	20,5

Вследствие роста зерна увеличивается число контактов между частицами, в результате формируются более крупные агломераты, как было показано на РЭМ снимках (см.рис. 23.2а–в*). Как следствие, это приводит к снижению общей площади поверхности по БЭТ от 40 до 18,3 м²/г, что определено по результатам адсорбции-десорбции азота (рис. 23.4а–г). Показано, что изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота для данных образцов, полученных в пределах 150 °С, имеют идентичный характер и относятся к IV типу по классификации IUPAC, характерному для мезопористых тел (см. рис. 23.4а–в). Форма петель гистерезиса относится к типу Н1 с областью резкого роста сорбционной емкости в области высоких относительных давлений $p/p_0 \rightarrow 0,95-0,99$, что свидетельствует о присутствии щелевидных форм в структуре композитов. Это обусловлено схожей морфологией и типом пористой структуры данных образцов, что подтверждается идентичным диапазоном размера мезо- и макропор, что определено методом DFT (см. рис. 23.4а*–в*).

Очевидное отличие имеет образец, синтезированный при температуре 180 °С. Величина $S_{БЭТ}$ увеличивается до 54,8 м²/г, и переход формы петли гистерезиса изотермы адсорбции-десорбции азота от типа Н1 к Н2 указывает на формирование цилиндрических мезопор в составе образца (см. рис. 23.4г). Это подтверждено расчетом по методу DFT, где на графике распределения пор по размерам видно, что в объеме образца сформированы мезопоры размером в диапазоне 5–32 нм (см. рис. 23.4г*). Такое отличие данного образца обусловлено изменением его общей структуры и морфологии поверхности (изменением формы частиц со сферических на кристаллические; их упаковка и пространственное агломерирование и др.), как было показано выше на РЭМ изображении (см. рис. 23.3г, г*).

На рисунке 23.5 приведены изотермы сорбции ионов Cs⁺ при pH 6,0±0,5, а также кривые, полученные аппроксимацией экспериментальных данных уравнениями Ленгмюра, Фрейндлиха и Ленгмюра – Фрейндлиха. Показано, что с увеличением температуры гидротермального синтеза образцов снижается значение предельной сорбции (G_{max}), что свидетельствует об уменьшении числа и доступности для ионного обмена сорбционных центров. Вероятно, это связано с уменьшением площади свободной поверхности частиц ввиду их роста и агломерации, как было показано на РЭМ снимках для образцов, полученных в пределах 90–150 °С (см. рис. 23.3а–в*), а также снижением удельной поверхности и объема

пор (см. рис. 23.4а, а*–в, в*). Наименьшей предельной сорбцией обладает образец, полученный при температуре 180 °С, характеризующийся наибольшим значением удельной поверхности по БЭТ (см. рис. 23.4), что обусловлено преимущественно изменением состава кристаллической фазы алюмосиликата нозеана $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6(\text{CO}_3)$ (см.рис. 23.1, табл. 23.1).

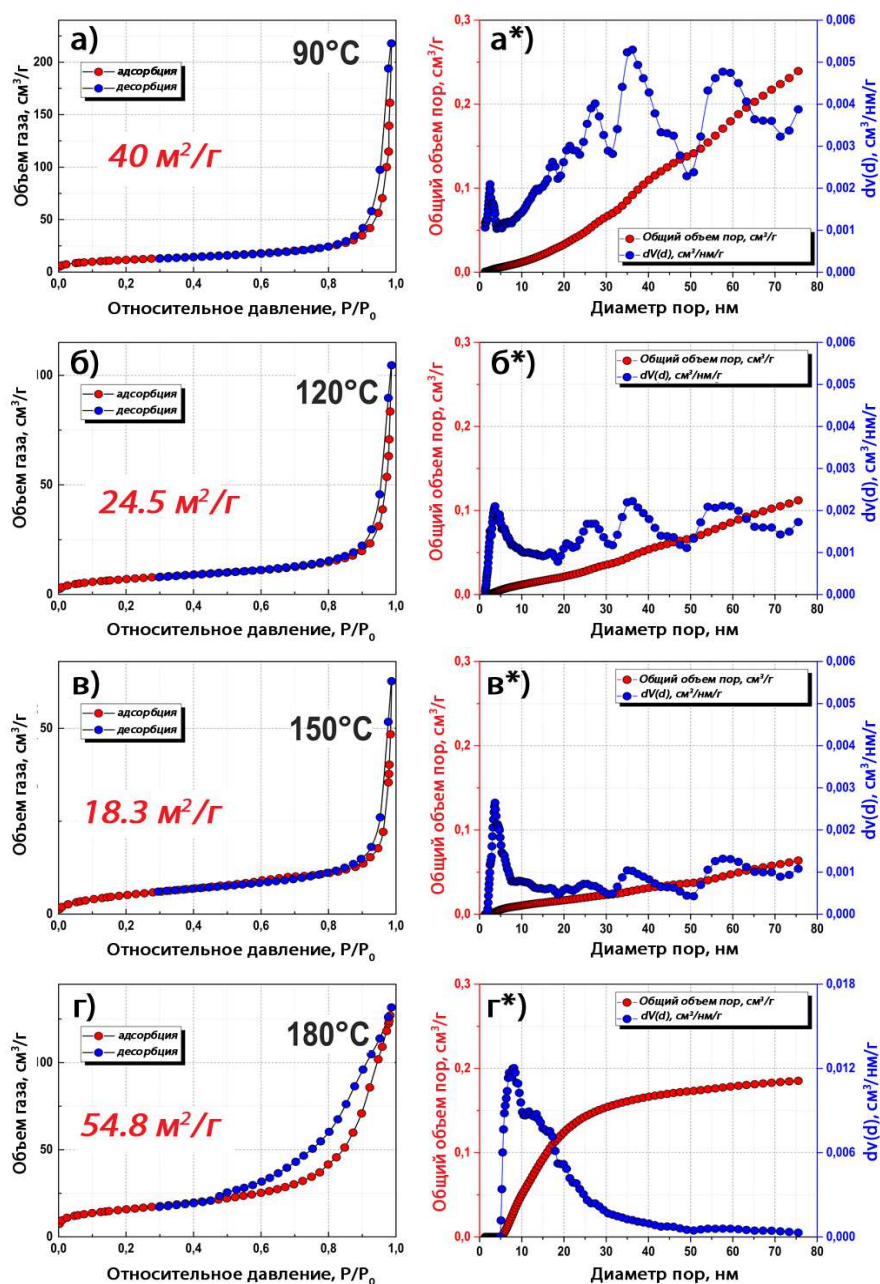


Рис. 23.4. Изотермы низкотемпературной сорбции-десорбции азота и гистограммы распределения размера пор, рассчитанного по методу DFT, образцов наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза

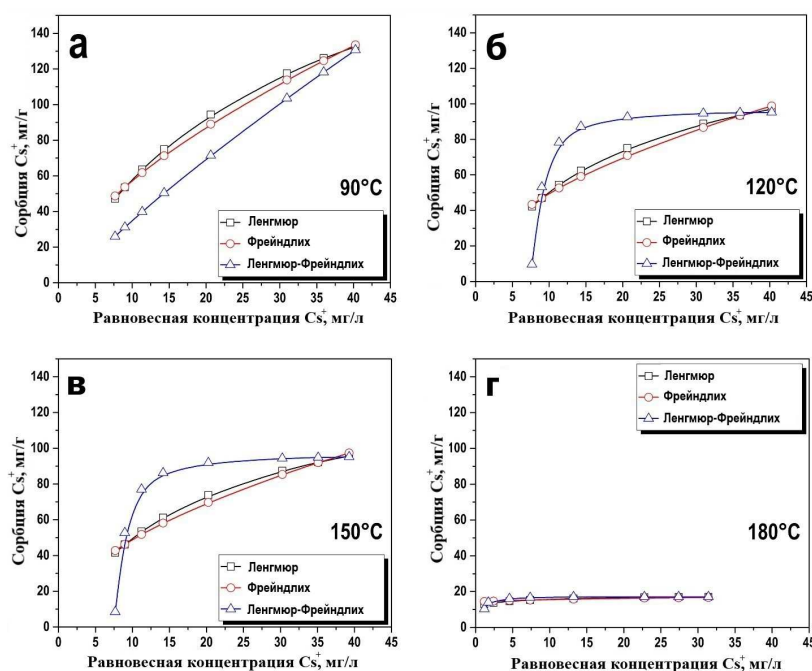


Рис. 23.5. Изотермы сорбции стабильных ионов цезия образцами наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза, построенные на основе аппроксимированных экспериментальных значений с использованием различных уравнений

В таблице 23.2 приведены соответствующие значения констант адсорбционного равновесия (K_1) и предельной сорбции ($G_{\max}$). На основании высоких значений коэффициентов корреляции (R^2) и соответствия рассчитанных и экспериментальных значений сорбционной емкости можно сделать вывод о том, что экспериментальные данные достоверно описываются уравнением Ленгмюра. Это свидетельствует о протекании преимущественно мономолекулярной адсорбции, что характерно для ионообменного механизма сорбции. Показано, что наибольшей сорбционной емкостью обладает образец, полученный при температуре 90 °С, что, вероятно, связано с его химическим составом (см. табл. 23.1) и наибольшим количеством активных ионообменных (сорбционных) центров на поверхности магнитного композита.

Таблица 23.2

Параметры уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха и Ленгмюра – Фрейндлиха, рассчитанные после аппроксимации экспериментальных данных сорбции ионов цезия

Уравнение	Параметр	Температура гидротермального синтеза, °С			
		90	120	150	180
Ленгмюра	$G_{\max}$	229,6	139,9	139,9	18,18
	K_1	0,08	0,05	0,05	2,61
	R^2	0,92	0,99	0,99	0,74

Окончание табл. 23.2

Уравнение	Параметр	Температура гидротермального синтеза, °C			
		90	120	150	180
Фрейндлиха	K_1	24,20	15,73	15,29	14,46
	n	0,60	0,49	0,50	0,08
	R^2	0,88	0,99	0,99	0,73
Ленгмюра – Фрейндлиха	$G_{\max}$	192,41	96,35	96,67	17,03
	K_1	0,95	0,95	1,02	0,68
	R^2	0,99	0,83	0,84	0,49

Согласно классификации С.Н. Giles [49] изотермы на рис. 23.5а можно отнести к С-типу, который отличается линейным начальным участком, что соответствует сохранению числа адсорбированных центров в широком диапазоне концентраций цезия, вплоть до максимально возможной адсорбции адсорбтива из раствора. При этом, условиями получения изотерм С-типа являются: наличие у пористого сорбента «гибких» слоев или областей с различной степенью кристалличности; высокое сродство адсорбирующего вещества (ионов цезия) к сорбенту; большая проникающая способность адсорбтива к структурной геометрии сорбционного материала.

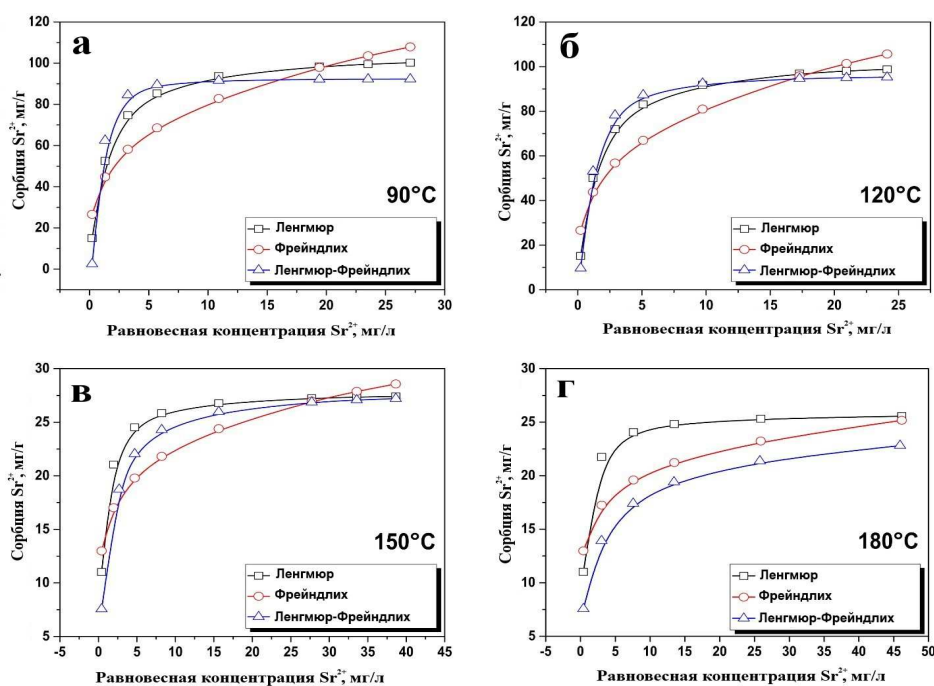


Рис. 23.6. Изотермы сорбции стабильных ионов стронция образцами наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза, построенные на основе аппроксимированных экспериментальных значений с использованием различных уравнений

На рисунке 23.6 приведены изотермы сорбции ионов Sr^{2+} при pH 6±1, а также кривые, полученные аппроксимацией экспериментальных данных – уравнениями Ленгмюра, Фрейндлиха и Ленгмюра – Фрейндлиха. В таблице 23.3 приведены рассчитанные параметры для данных моделей. Изотермы образцов, синтезированных при температуре 90 и 120 °С, имеют Н-тип по классификации С.Н. Giles [49], при котором в области низких концентраций имеется круто восходящий участок (см. рис. 23.6а, б). Это указывает на большое сродство ионов Sr^{2+} к сорбенту и высокой адсорбции на поверхности сорбента. Изотермы такого типа являются следствием обмена между функциональными группами сорбента и ионами Sr^{2+} , образующимися при диссоциации адсорбтива в растворе. Для образцов, синтезированных при температуре 150 и 180 °С, изотермы имеют L-тип при котором характерен выгнутый начальный участок относительно оси концентраций (см. рис. 23.6в, г), так как с увеличением доли занятых адсорбционных мест ионами Sr^{2+} сложнее найти вакантное место, особенно если кристаллиты склонны к образованию больших агломератов, как показано на РЭМ (см. рис. 23.3в*–г*), образование которых в растворе обусловлено усилением межмолекулярного взаимодействия.

В таблице 23.3 приведены константы уравнений, рассчитанные после аппроксимации экспериментальных данных. Так, сорбция ионов стронция протекает по мономолекулярному механизму преимущественно за счет ионного обмена, что подтверждается достоверным описанием экспериментальных данных моделью Ленгмюра. При этом с увеличением температуры гидротермального синтеза образцов происходит снижение значения предельной сорбции ($G_{\max}$), что согласуется с изменением удельной поверхности (см. рис. 23.4), химического состава (см. табл. 23.1) и морфологии поверхности образцов (см. рис. 23.3). Наибольшей сорбционной емкостью обладает образец, синтезированный при температуре 90 °С, что, как и в случае сорбции Cs^+ , связано с наибольшим количеством ионообменных (сорбционных) центров на поверхности магнитного композита. Схожие результаты получены Kouznetsova [et al.] [50] при сорбции на новых мезопористых алюмосиликатах/цеолитах.

Таблица 23.3

Параметры уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха и Ленгмюра-Фрейндлиха, рассчитанные после аппроксимации экспериментальных данных сорбции ионов стронция

Уравнение	Параметр	Температура гидротермального синтеза, °С			
		90	120	150	180
Ленгмюра	$G_{\max}$	105,1	104,1	27,86	25,87
	K_1	0,75	0,77	1,55	1,73
	R^2	0,93	0,92	0,90	0,98
Фрейндлиха	K_1	41,32	41,53	15,10	14,78
	n	0,29	0,29	0,17	0,13
	R^2	0,90	0,90	0,87	0,91
Ленгмюра-Фрейндлиха	$G_{\max}$	92,41	96,35	28,10	27,70
	K_1	0,20	0,95	0,76	0,54
	R^2	0,92	0,93	0,92	0,90

Исследование магнитных характеристик образцов наноструктурированных композитов включало определение удельной намагниченности в состоянии, близком к насыщению (M), а также коэрцитивной силы (H_c). Дополнительно проводили измерения температурной зависимости удельной намагниченности насыщения образцов с целью изучения влияния температурных условий их синтеза на магнитные параметры фазы магнетита, входящего в состав образцов и определяющего общие магнитные свойства исследуемых сорбентов.

На рисунке 23.7 приведены зависимости удельной намагниченности исследованных образцов от напряженности приложенного поля (H). Установлено, что для всех исследуемых образцов наблюдается полное отсутствие гистерезиса (H_c и остаточная намагниченность M_r равны 0). Такое поведение возможно для частиц магнетита, находящихся в суперпарамагнитном состоянии [51]. Для магнетита критический объем наночастиц в суперпарамагнитном состоянии равен

$$V_{sp} = \frac{25k_B T}{K_u},$$

где k_B – постоянная Больцмана; T – температура образца при измерении, T ; K_u – магнитная анизотропия ($K_u = -1,1 \cdot 10^5$ эрг/см³) [52].

Рассчитанный критический диаметр наночастиц магнетита равен $D_{sp} = 26$ нм. Поведение намагниченности ансамбля наночастиц в магнитном поле хорошо описывается функцией Ланжевена, что подтверждает наличие суперпарамагнитного состояния:

$$M_i = M \left(\coth \left(\frac{mH}{k_B T} \right) - \frac{k_B T}{mH} \right),$$

где магнитный момент каждой наночастицы равен

$$m = \frac{M\pi D^3}{6},$$

где D – диаметр наночастицы [52]. Средний диаметр наночастиц, рассчитанный из аппроксимации, для всех образцов равен $27,9 \pm 1,5$ нм, что хорошо согласуется с D_{sp} . Важно отметить, что с увеличением температуры гидротермального синтеза размер наночастиц Fe_3O_4 не изменяется.

Однозначная связь между удельной намагниченностью насыщения и напряженностью приложенного поля для основной кривой намагничивания, для кривой $M(H)$ при увеличении и уменьшении условно положительного и отрицательного H позволяет ограничиваться двумя ветвями зависимости $M(H)$ (рис. 23.7).

Расчетное (теоретическое) значение удельной намагниченности железа при его содержании в количестве 12–15 масс.% в составе магнетитовой фазы в образцах составляет 17–19 эме/г. Для сравнения, удельная намагниченность насыщения магнетита составляет 92,4 эме/г, а весовое содержание железа в его составе – 72 масс.%. Таким образом, экспериментально полученное значение удельной намагниченности насыщения образцов полностью соответствует количеству железа в составе магнетитовой фазы. Экспериментально измеренные значения удельной намагниченности насыщения образцов полностью совпадают с расчетным значением (см. рис. 23.7).

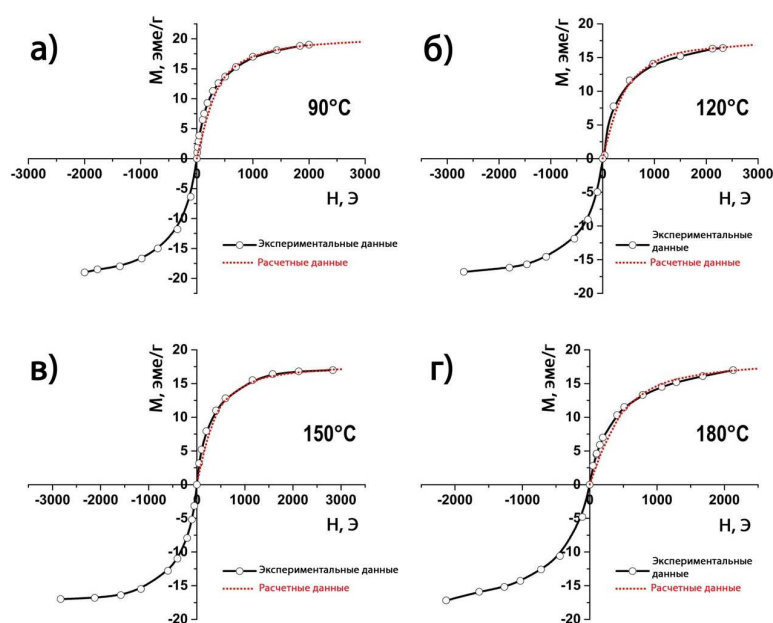


Рис. 23.7. Зависимость удельной намагниченности от напряженности приложенного поля для образцов наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза (данные аппроксимированы функцией Ланжевена)

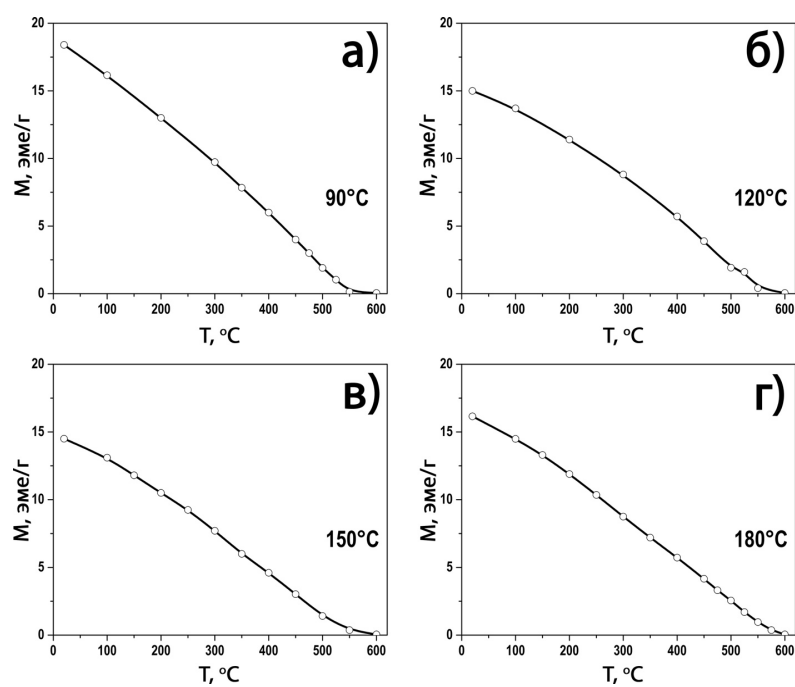


Рис. 23.8. Зависимость удельной намагниченности от температуры нагрева образцов наноструктурированных магнитных композитов, полученных при различных температурах гидротермального синтеза

На рисунке 23.8 приведены зависимости удельной намагниченности насыщения исследованных образцов от температуры нагрева. Определено, что температура Кюри для всех исследуемых образцов составляет 580 °С. Таким образом, температурные условия гидротермального синтеза, исследуемые в интервале 90–180 °С, не влияют на состав и структуру магнитной фазы в образцах, окисление магнетита не происходит.

Результаты магнитных исследований показывают, что коэрцитивная сила близка к нулю, поэтому синтезированные наноструктурированные композитные сорбенты относятся к магнитомягким материалам с относительно высокой удельной намагниченностью насыщения. Во-первых, частицы данного сорбента в отсутствие магнитного поля не будут иметь дипольного взаимодействия, что исключит их агломерацию при диспергировании в очищаемых растворах. Во-вторых, при воздействии на такой сорбент постоянным магнитным полем в пределах 2000–3000 Э будет достигаться его высокая степень отделения от очищаемых растворов в условиях магнитной сепарации.

Заключение

Магнитные наноструктурированные сорбенты на основе композитов цеолита нозеана и магнетита получены методом гидротермального синтеза. Установлено, что в образцах, полученных при гидротермальной обработке в диапазоне 90–150 °С, идентифицируется только одна кристаллическая фаза магнетита; при увеличении температуры обработки до 180 °С образуется примесная фаза кристаллического цеолита нозеана. Все образцы характеризуются мезопористой структурой с удельной поверхностью 18,3–54,8 м²/г, щелевидными и цилиндрическими порами (для образцов, полученных при 90–150 и 180 °С соответственно). По сорбционной емкости стабильных ионов цезия и стронция образцы располагаются в ряд 90 °С > 120 °С ≈ 150 °С >> 180 °С. Это обусловлено снижением удельной поверхности композитов со схожим составом (90–150 °С) и существенным изменением химического состава адсорбента, полученного при температуре 180 °С, что приводит к увеличению количества ионообменных центров. Изотермы сорбции ионов цезия и стронция достоверно описываются уравнением мономолекулярной адсорбции Ленгмюра, что подтверждает ионообменный механизм сорбции. Максимальная емкость $G_{\max}$ по отношению к иону цезия 229,6 мг/г и стронция 105,1 мг/г достигнута для образца, полученного при 90 °С. Измеренные магнитные характеристики полученных композитов свидетельствуют об успешном магнитном модифицировании цеолита нозеана магнетитом и перспективности применения магнитной сепарации при использовании композитных адсорбентов.

Благодарность. Синтез и физико-химические исследования выполнены при финансовой поддержке Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ, тема № 00657–2020–0006. Измерение и анализ магнитных свойств образцов проведены при поддержке Российского научного фонда, проект № 19–72–20071. В работе было использовано оборудование объединенного ЦКП, междисциплинарного центра в области нанотехнологий и новых функциональных материалов ДВФУ и лаборатории магнетизма и лаборатории пленочных технологий Института наукоемких технологий и передовых материалов ДВФУ (ИНТиПМ ДВФУ, Владивосток, Россия). Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории рентгеноструктурного анализа Института химии ДВО РАН – канд. хим.

наук А.В. Герасименко и канд. хим. наук Д.Х. Шлык за проведение рентгенофазового анализа четырех экспериментальных образцов; студенту Департамента химии и материалов ИНТМПМ ДВФУ А.Д. Номеровскому за участие в эксперименте по синтезу лабораторных образцов материалов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Alby, D. Recent developments in nanostructured inorganic materials for sorption of cesium and strontium: Synthesis and shaping, sorption capacity, mechanisms, and selectivity – A review / D. Alby, C. Charnay, M. Heran [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2018. – Vol. 344. – P. 511–530.
2. Arar, Ö. Application of sorption process for the removal of radioactive elements / Ed. A. Núñez-Delgado. – Elsevier, 2021. – P. 495–512.
3. Gordienko, P.S. Sorption of Strontium Ions on Barium Silicates from Solutions of Complex Salt Composition / P.S. Gordienko, I.A. Shabalin, S.B. Yarusova [et al.] // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. – 2019. – Vol. 64, no. 12 – P. 1579–1586.
4. Avramenko, V.A. Processes for treatment of liquid radioactive waste containing seawater / V.A. Avramenko, A.M. Egorin, E.K. Papynov [et al.] // *Radiochemistry*. – 2017. – Vol. 59, no. 4. – P. 407–413.
5. Collum, B. Nuclear fuel cycle / B. Collum. – Elsevier Ltd., 2017. – P. 1–44.
6. Obodovskiy, I. Radionuclide Sources of Ionizing Radiation / I. Obodovskiy. – Elsevier, 2019. – P. 259–273.
7. Evrard, O. Radiocesium transfer from hillslopes to the Pacific Ocean after the Fukushima Nuclear Power Plant accident: A review / O. Evrard, J.P. Lacey, H. Lepage [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. – Vol. 148. – P. 92–110.
8. Levenets, V.V. Comparison the sorption properties of clinoptilolite and synthetic zeolite during sorption strontium from the water solutions in static conditions: Sorption and quantitative determination of strontium by the method PIXE / V.V. Levenets, A.Y. Lonin, O.P. Omelnik, A.O. Shchur // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2016. – Vol. 4, no. 4. – P. 3961–3966.
9. Han, E. Synergy between Zeolite Framework and Encapsulated Sulfur for Enhanced Ion-Exchange Selectivity to Radioactive Cesium / E. Han, Y.G. Kim, H.M. Yang [et al.] // *Chemistry of Materials*. – 2018. – Vol. 30, no. 16. – P. 5777–5785.
10. Vereshchagina, T.A. Microsphere zeolite materials derived from coal fly ash cenospheres as precursors to mineral-like aluminosilicate hosts for $^{135,137}\text{Cs}$ and ^{90}Sr / T.A. Vereshchagina, S.N. Vereshchagin, N.N. Shishkina [et al.] // *Journal of Nuclear Materials*. – 2013. – Vol. 437, no. 1–3. – P. 11–18.
11. Smeets, S. Zeolite Structures / Ed. J. Cejka, H. Bekkum. – Elsevier Ltd., 2005. – 72 p.
12. Gatta, G.D. Systematics, crystal structures, and occurrences of zeolites / Ed. M. Mercurio, B. Sarkar, A. Langella. – Elsevier Inc., 2018. – P. 1–25.
13. Bahran, S. Fundamental developments in the zeolite process / Ed. M. Ghaedi. – Elsevier, 2021. – P. 499–556.
14. Fan, X. Porous materials for catalysis: Toward sustainable synthesis and applications of zeolites / Ed. G. Szekely, A. Livingston. – Elsevier Inc., 2019. – P. 115–137.

15. Belkhir, S. Textural and structural effects of heat treatment and γ -irradiation on Cs-exchanged NaX zeolite, bentonite and their mixtures / S. Belkhir, M. Guenza, S. Chouikh [et al.] // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2012. – Vol. 161. – P. 115–122.
16. Cruciani, G. Zeolites upon heating: Factors governing their thermal stability and structural changes / G. Cruciani // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 2006. – Vol. 67, no. 9–10. – P. 1973–1994.
17. Jiménez-Reyes, M. Radioactive waste treatments by using zeolites. A short review / M. Jiménez-Reyes, P.T. Almazán-Sánchez, M. Solache-Ríos // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2021. – Vol. 233. – P. 106610.
18. Kwon, S. Relationship between zeolite structure and capture capability for radioactive cesium and strontium / S. Kwon, C. Kim, E. Han [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – Vol. 408. – P. 124419.
19. Mahima Kumar, M. Removal of Cs^+ and Sr^{2+} ions from simulated radioactive waste solutions using Zeolite-A synthesized from kaolin and their structural stability at high pressures / M. Mahima Kumar, K.A. Irshad, H. Jena // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2021. – Vol. 312. – P. 110773.
20. Merceille, A. The sorption behaviour of synthetic sodium nonatitanate and zeolite A for removing radioactive strontium from aqueous wastes / A. Merceille, E. Weinzaepfel, Y. Barré, A. Grandjean // *Separation and Purification Technology*. – 2012. – Vol. 96. – P. 81–88.
21. Hong, H.J. Preparation of highly stable zeolite-alginate foam composite for strontium (^{90}Sr) removal from seawater and evaluation of Sr adsorption performance / H.J. Hong, B.G. Kim, J. Ryu [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – Vol. 205. – P. 192–200.
22. Kitamura, A. Recent activities in the field of nuclear waste management / A. Kitamura, A. Kirishima // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, no. 3. – P. 448–450.
23. Yamagishi, I. Characterization and storage of radioactive zeolite waste / I. Yamagishi, R. Nagaishi, C. Kato [et al.] // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2014. – Vol. 51, no. 7–8. – P. 1044–1053.
24. Papynov, E.K. Spark plasma sintering of ceramic and glass-ceramic matrices for cesium radionuclides immobilization / Ed. K. Narang. – New York: Nova Science Publisher, Inc, 2018. – P. 107–153.
25. Shichalin, O.O. Spark plasma sintering of aluminosilicate ceramic matrices for immobilization of cesium radionuclides / O.O. Shichalin, E.K. Papynov, V.Y. Mayorov [et al.] // *Radiochemistry*. – 2019. – Vol. 61, no. 2. – P. 185–191.
26. Yang, Y. A novel method to convert Cs-polluted soil into pollucite-base glass-ceramics for Cs immobilization / Y. Yang, T. Wang, Z. Zhang [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 385, no. 10. – P. 123844.
27. Cappelletti, P. Immobilization of Cs and Sr in aluminosilicate matrices derived from natural zeolites / P. Cappelletti, G. Rapisardo, B.D. Gennaro [et al.] // *Journal of Nuclear Materials*. – 2011. – Vol. 414, no. 3. – P. 451–457.
28. Papynov, E.K. SPS technique for ionizing radiation source fabrication based on dense cesium-containing core / E.K. Papynov, O.O. Shichalin, V.Y. Mayorov [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2019. – Vol. 369, no. 11. – P. 25–30.
29. Palčić, A. Synthesis and application of (nano) zeolites. – Elsevier, 2021. – P. 79–114.

30. Ambashta, R.D. Water purification using magnetic assistance: A review / R.D. Ambashta, M. Sillanpää // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 180, no. 1–3. – P. 38–49.
31. Bourlinos, A.B. A simple route towards magnetically modified zeolites / A.B. Bourlinos, R. Zboril, D. Petridis // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2003. – Vol. 58, no. 2. – P. 155–162.
32. Oliveira, L.C.A. Magnetic zeolites: A new adsorbent for removal of metallic contaminants from water / L.C.A. Oliveira, D.I. Petkowicz, A. Smaniotto, S.B.C. Pergher // *Water Research*. – 2004. – Vol. 38, no. 17. – P. 3699–3704.
33. Faghihian, H. Evaluation of a new magnetic zeolite composite for removal of Cs^+ and Sr^{2+} from aqueous solutions: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies / H. Faghihian, M. Moayed, A. Firooz, M. Irvani // *Comptes Rendus Chimie*. – 2014. – Vol. 17, no. 2. – P. 108–117.
34. Falyouna, O. Magnetic zeolite synthesis for efficient removal of cesium in a lab-scale continuous treatment system / O. Falyouna, O. Eljamal, I. Maamoun [et al.] // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2020. – V. 571. – P. 66–79.
35. Eljamal, O. Iron based nanoparticles-zeolite composites for the removal of cesium from aqueous solutions / O. Eljamal, T. Shubair, A. Tahara [et al.] // *Journal of Molecular Liquids*. – 2019. – Vol. 277. – P. 613–623.
36. Shubair, T. Preparation of new magnetic zeolite nanocomposites for removal of strontium from polluted waters / T. Shubair, O. Eljamal, A. Tahara [et al.] // *Journal of Molecular Liquids*. – 2019. – Vol. 288. – P. 111026.
37. Rahman, M.M. Statistical techniques for the optimization of cesium removal from aqueous solutions onto iron-based nanoparticle-zeolite composites / M.M. Rahman, S.C. Karmaker, A. Pal [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – Vol. 28, no. 10. – P. 12918–12931.
38. Faghihian, H. Synthesis of a novel magnetic zeolite nanocomposite for removal of Cs^+ and Sr^{2+} from aqueous solution: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies / H. Faghihian, M. Moayed, A. Firooz, M. Irvani // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2013. – Vol. 393, no. 1. – P. 445–451.
39. Moamen, O.A.A. Thermodynamic analysis for the sorptive removal of cesium and strontium ions onto synthesized magnetic nano zeolite / O.A.A. Moamen, H.A. Ibrahim, N. Abdelmonem, I.M. Ismail // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2016. – Vol. 223. – P. 187–195.
40. Buhl, J.C. Synthesis of a Sulfate Enclathrated Zeolite with Intermediate Framework Structure between Sodalite and Cancrinite / J.C. Buhl // *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*. – 2017. – V. 643. – No. 15. – P. 1030–1036.
41. Sapozhnikov, A.N. On the crystal chemistry of sulfur-rich lazurite, ideally $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)(\text{S}_3)\cdot n\text{H}_2\text{O}$ / A.N. Sapozhnikov, V.L. Tauson, S.V. Lipko [et al.] // *American Mineralogist*. – 2021. – Vol. 106, no. 2. – P. 226–234.
42. Chukanov, N.V. Spectroscopic and crystal-chemical features of sodalite-group minerals from gem lazurite deposits / N.V. Chukanov, A.N. Sapozhnikov, R.Y. Shendrik [et al.] // *Minerals*. – 2020. – Vol. 10, no. 11. – P. 1–23.
43. Kankrej, S.R. Adsorption isotherms, thermodynamics, kinetics and mechanism for the removal of Ca^{2+} , Mg^{2+} and Cu^{2+} ions onto Nosean prepared by using Coal Fly Ash / S.R. Kankrej, M.S. Kulkarni, A.V. Borhade // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2018. – Vol. 6, no. 2. – P. 2369–2381.

44. Kankrej, S.R. Kinetic and thermodynamic studies on adsorption behaviour of rhodamine B dye on nosean synthesised from coal S.R. Kankrej, M.S. Kulkarni, R.P. Patil, A.V. Borhade // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. – 2018. – Vol. 5, no. 12. – P. 367–379.
45. Ren, X. Synthesis of zeolites from coal fly ash for the removal of harmful gaseous pollutants: A review / X. Ren, R. Qu, S. Liu [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2020. – Vol. 20, no. 5. – P. 1127–1144.
46. Behrens, S. Preparation of functional magnetic nanocomposites and hybrid materials: Recent progress and future directions / S. Behrens // *Nanoscale*. – 2011. – Vol. 3. – P. 877–892.
47. Gesing, T.M. Crystal structure of a Carbonate-Nosean $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6\text{CO}_3$ / T.M. Gesing, J.-C. Buhl // *European Journal of Mineralogy*. – 1998. – Vol. 10, no. 1. – P. 71–78.
48. Letia, I.A. Contextual extension with concept maps in the argument interchange format / I.A. Letia, A. Groza // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. – 2009. – Vol. 5384. – P. 72–89.
49. Giles, C.H. Studies in Adsorption. Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms, and its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Areas of Solids / C.H. Giles, T.H. MacEwan, S.N. Nakhwa, D. Smith // *Journal of the Chemical Society*. – 1960. – P. 3973–3993.
50. Kouznetsova, T. Sorption and mechanism studies of Cu^{2+} , Sr^{2+} and Pb^{2+} ions on mesoporous aluminosilicates/zeolite composite sorbents / T. Kouznetsova, A. Ivanets, V. Prozorovich [et al.] // *Water Science and Technology*. – 2020. – Vol. 82, no. 5. – P. 984–997.
51. Lee, J.S. Magnetic multi-granule nanoclusters: A model system that exhibits universal size effect of magnetic coercivity / J.S. Lee, J.M. Cha, H.Y. Yoon [et al.] // *Scientific Reports*. – 2015. – Vol. 5, no. January. – P. 1–7.
52. Cullity, B.D. Introduction to Magnetic Materials / B.D. Cullity, C.D. Graham – Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008. – 544 p.

Информация об авторах

Папынов Евгений Константинович, канд. хим. наук, заместитель директора по развитию, Институт наукоемких технологий и передовых материалов (ИНТиПМ), Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); заведующий лабораторией ядерных технологий Департамента ядерных технологий ИНТиПМ ДВФУ. E-mail: papunov@mail.ru, papunov.ek@dvfu.ru

Шичалин Олег Олегович, канд. хим. наук, заведующий лабораторией экстремальных материалов и изделий специального назначения, Дальневосточный центр синхротронных исследований (ДВ ЦСИ), ДВФУ; научный сотрудник лаборатории ядерных технологий Департамента ядерных технологий, ИНТиПМ, ДВФУ. E-mail: oleg_shich@mail.ru

Драньков Артур Николаевич, канд. хим. наук, младший научный сотрудник лаборатории экстремальных материалов и изделий специального назначения, ДВ ЦСИ, ДВФУ, младший научный сотрудник лаборатории ядерных технологий Департамента ядерных технологий, ИНТиПМ, ДВФУ. E-mail: artur.drankov@gmail.com

Майоров Виталий Юрьевич, канд. хим. наук, инженер Департамента химии и материалов, ИНТиПМ, ДВФУ. E-mail: 024205@inbox.ru

Печников Владимир Степанович, канд. физ.-мат. наук, доцент Департамента общей и экспериментальной физики, ИНТиПМ, ДВФУ. E-mail: pech_vs@mail.ru

Иванец Андрей Иванович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси (НАН Беларуси), д-р хим. наук, научный руководитель лаборатории адсорбентов и адсорбционных процессов, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси. E-mail: andreiiivanets@yandex.by

Буравлев Игорь Юрьевич, канд. хим. наук, доцент Департамента промышленной безопасности, Политехнический институт (Школа), ДВФУ. E-mail: buravlev.i@gmail.com

Огнев Алексей Вячеславович, д-р физ.-мат. наук, директор, ИНТиПМ, ДВФУ; профессор Департамента общей и экспериментальной физики, ИНТиПМ, ДВФУ. E-mail: ognev.av@dvfu.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 23. MAGNETIC SORBENT BASED ON ZEOLITE OF NOSEAN STRUCTURE FOR CESIUM AND STRONTIUM RADIONUCLIDES WASTEWATER PURIFICATION

Evgeny K. Papynov¹, Oleg O. Shichalin¹, Artur N. Drankov¹, Vitaly Yu. Mayorov¹, Vladimir S. Pechnikov¹, Andrey I. Ivanets², Igor Yu. Buravlev¹, Alexey V. Ognev¹

Abstract. *The problem of water contamination by long-living cesium and strontium radionuclides is an urgent environmental issue. The development of facile and efficient technologies based on nanostructured adsorbents is a perspective for selective radionuclides removal. In this regard, current work aimed to obtain the nanostructured magnetic zeolite composites with high adsorption performance to cesium and strontium ions. The optimal conditions of hydrothermal synthesis were established based on XRD, SEM-EDX, N₂ adsorption-desorption, VSM, and batch adsorption experiment data. The role of chemical composition, textural characteristics, and surface morphology was demonstrated. The monolayer ion-exchange mechanism was proposed based on adsorption isotherm modeling. The highest Langmuir adsorption capacity of 229.6 and 105.1 mg/g towards cesium and strontium ions was reached for composite obtained at 90 °C hydrothermal treatment. It was shown that magnetic characteristics of zeolite composites allowing to separate spent adsorbents by a magnet from aqueous solutions.*

Keywords: *zeolite; magnetic composite; hydrothermal synthesis; water purification; radionuclides.*

Information about authors

Evgeny K. Papynov, Ph.D., Deputy Director, Institute of High Technologies and Advanced Materials (IHTAM), Far Eastern Federal University (FEFU); Head of the Laboratory of the Nuclear Technologies of the Nuclear Technologies Department, IHTAM, FEFU. E-mail: papynov@mail.ru, papynov.ek@dvfu.ru

¹ Institute of High Technologies and Advanced Materials, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

² Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus, Surganova st. 9/1, Minsk, 220072, Belarus.

Oleg O. Shichalin, Ph.D., Head of the Laboratory of Extreme Materials and Special Purpose Products, Far Eastern Center for Synchrotron Research (FECSR), FEFU; Researcher of Laboratory of the Nuclear Technologies of Department of the Nuclear Technologies, IHTAM, FEFU. E-mail: oleg_shich@mail.ru

Artur N. Drankov, Ph.D., Junior Researcher of the Laboratory of Extreme Materials and Special Purpose Products, FECSR, FEFU; Junior Researcher of the Laboratory of Nuclear Technologies of the Department of Nuclear Technologies, IHTAM, FEFU. E-mail: artur.drankov@gmail.com

Vitaly Yu. Mayorov, Ph.D., Engineer of the Department of Chemistry and Materials, IHTAM, FEFU. E-mail: 024205@inbox.ru

Vladimir S. Pechnikov, Ph.D., Associate Professor, Department of General and Experimental Physics, IHTAM, FEFU. E-mail: pech_vs@mail.ru

Andrey I. Ivanets, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus (NAS of Belarus), Dr. Sci., Scientific Director of the Laboratory of Adsorbents and Adsorption Processes, Institute of General and Inorganic Chemistry, NAS of Belarus, E-mail: andreiivanets@yandex.by

Igor Yu. Buravlev, Ph.D., Leading Researcher of the Laboratory of Nuclear Technologies of the Department of Nuclear Technologies, IHTAM, FEFU; Associate Professor of the Department of Industrial Safety, Polytechnic Institute, FEFU. E-mail: buravlev.i@gmail.com

Alexey V. Ognev, Dr. Sci., Director, IHTAM, FEFU; Professor of the Department of General and Experimental Physics, IHTAM, FEFU. E-mail: ognev.av@dvfu.ru

Глава 24. ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ

С.Б. Ярусова¹, П.С. Гордиенко¹, А.Е. Панасенко¹, У.В. Харченко¹,
И.А. Беленева², Е.А. Нехлюдова¹

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-277-296>

Аннотация. Представлены результаты исследований по синтезу и изучению сорбционных свойств силикатов кальция, полученных из различных исходных соединений (из модельных систем, а также из отходов растительного производства (рисовой соломы) и промышленных отходов (отходов производства борной кислоты) при различных условиях синтеза), по отношению к ионам тяжелых металлов, метиленовому синему и условно-патогенным микроорганизмам *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*.

Ключевые слова: силикаты кальция; отходы растительного производства; промышленные отходы; борогипс; сорбционные свойства; поллютанты.

Силикаты $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2$ и гидросиликаты $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ кальция, а также материалы на их основе применяются и активно исследуются как сорбенты для извлечения из объектов окружающей среды различных поллютантов (тяжелых металлов, долгоживущих радионуклидов, пестицидов, красителей, фенолов, неорганических анионов, а также патогенных и условно-патогенных микроорганизмов) [1–9]. При этом следует отметить, что для синтеза силикатов кальция можно использовать широкий спектр кальций- и кремнийсодержащих соединений, не только природных, но и в виде техногенных отходов различных производств. Преимуществом синтетических аналогов данных соединений является их стабильный и регулируемый состав. При этом в зависимости от поставленной задачи и требуемых характеристик продукта всегда есть возможность подбора необходимого вида исходного сырья и оптимальных условий синтеза [10].

Авторами представлены результаты собственных исследований по синтезу и изучению сорбционных свойств силикатов кальция, полученных из различных исходных соединений (из модельных систем, а также из отходов растительного производства и промышленных отходов), по отношению к ионам тяжелых металлов, метиленовому синему и условно-патогенным микроорганизмам *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*.

В качестве кремнийсодержащих растительных отходов для синтеза силикатов кальция были выбраны крупнотоннажные отходы рисового производства в виде рисовой соломы. Сведений об использовании рисовой соломы в качестве сырья для химической промышленности сравнительно с шелухой (плодовыми оболочками) риса немного. Видимо, это связано с тем, что основная масса соломы применяется в сельском хозяйстве и лишь незначительная ее часть использу-

¹ Институт химии ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

² Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, 690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17.

ется в гидролизной промышленности [11]. Силикат кальция осаждали в результате реакции щелочного экстракта, полученного предварительно из рисовой соломы, с раствором хлорида кальция [12].

В качестве промышленного источника получения силикатов кальция использовали отходы борного производства (борогипс), содержащие в своем составе как кальциевую, так и кремниевую составляющие в оптимальном соотношении (до 70 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и до 30 % $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), в связи с чем не требуются дополнительные компоненты из других источников для дошихтовки исходной смеси [13]. Данные отходы накоплены на территории Приморского края на предприятии ООО «Горно-химическая компания Бор» (г. Дальнегорск) и Комсомольском сернокислотном заводе в количестве нескольких десятков миллионов тонн.

Для сравнительных исследований проводили синтез силикатов кальция в соответствующих модельных системах.

Материалы и методы

Синтез силикатов кальция. Краткая характеристика исходного сырья, описание процесса синтеза сорбентов на основе силикатов кальция и состав исследуемых образцов приведены в табл. 24.1.

Таблица 24.1

Исходное сырье для получения сорбентов на основе силикатов кальция, условия их синтеза и фазовый состав

Исходное сырье	Синтез	Фазовый состав продукта, удельная поверхность, плотность
Отходы производства борной кислоты с содержанием основных компонентов, масс. %: SiO_2 – 26–28; CaO – 26–28; SO_4^{2-} – 38–40; Fe_2O_3 – 1,8–2,0; Al_2O_3 – 0,6–0,8; B_2O_3 – 0,7–1,2; MnO – 0,2; MgO – 0,1–0,2	Борогипс смешивали с раствором гидроксида калия квалификации «ч.д.а» в стехиометрическом соотношении. Синтез проводили в лабораторном автоклаве при температурах 118 и 220 °С соответственно в течение 3 ч (далее – БГ СК 118 и БГ СК 220, соответственно). Для образца, полученного при 220 °С, проводили синтез и в течение 6 ч (далее – БГ СК 220–6 ч)	БГ СК 118: аморфная фаза, кальцит CaCO_3 , кварц SiO_2 ; 22,0–40,0 м ² /г; 2,25 г/см ³ . БГ СК 220: аморфная фаза, тоберморит 9Å $\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 102,4 м ² /г; 2,65 г/см ³ . БГ СК 220–6 ч: аморфная фаза, тоберморит 9Å $\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; ксонотлит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$; 155,2 м ² /г; 3,1 г/см ³
Промытая и высушенная солома риса (<i>Oryza sativa</i>) сорта дальневосточной селекции «Луговой», измельченная на части длиной 10–50 мм	Солому обрабатывали 1 М раствором гидроксида натрия при 90 °С в течение 1 ч. Твердый остаток соломы отделяли от раствора, к которому затем при активном перемешивании добавляли раствор хлорида кальция в мольном соотношении Ca/Si , равном 1:1, и доводили pH до 7 раствором HCl (далее – РС)	Аморфная фаза, кальцит CaCO_3 ; 393,9 м ² /г (по метиленовому синему); 2,48 г/см ³

Окончание табл. 24.1

Исходное сырье	Синтез	Фазовый состав продукта, удельная поверхность, плотность
Модельная система $\text{CaCl}_2\text{--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$	К предварительно разбавленному раствору жидкого стекла (марки «х.ч.»; содержание кремния 22,4 %) при активном перемешивании приливали раствор CaCl_2 . Синтез проводили при температуре 20 °С (далее – МСК 20)	Аморфная фаза, кальцит CaCO_3 ; 105,9 м ² /г; 2,05 г/см ³
Модельная система $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O--SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O--KOH--H}_2\text{O}$	Исходные компоненты (реактивы) в соответствующих многокомпонентных системах смешивали в стехиометрическом соотношении. Синтез проводили в автоклаве при 220 °С в течение 3 ч (далее – МСК 220)	Аморфная фаза, волластонит CaSiO_3 моноклинной модификации; гидросиликат кальция $\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5}\cdot x\text{H}_2\text{O}/1,5\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$, тоберморит 9 Å $\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 146,4 м ² /г; 2,63 г/см ³

Опыты по сорбции. Опыты по сорбции проводили в статических условиях при выбранном соотношении твердой и жидкой фаз (1:40, 1:50, 1:400, 1:1000) и температуре 20–60 °С, из водных растворов хлорида или нитрата соответствующего металла (Co^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+}) без солевого фона с различными начальными концентрациями в течение 3–5 ч. Для получения кинетической кривой сорбции в серию пробирок помещали навески сорбента, заливали их водным раствором соли соответствующего металла определенной концентрации и встряхивали от 1 до 180 мин.

Исследование сорбции модельного красителя – метиленового синего (МС) из водных растворов проводили в статических условиях при температуре 25 °С. К навескам образца прибавляли раствор красителя (соотношение сорбент: раствор 1:200) концентрации 80,8–841,6 мг/л и перемешивали в течение 40 мин. После перемешивания суспензию центрифугировали. Кинетику сорбции МС исследовали во временном интервале 1–60 мин; исходная концентрация красителя – 580 мг/л.

Для исследования сорбционных характеристик в работе использовались тестовые культуры микроорганизмов, хранящиеся в музее культур ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН: *Escherichia coli* ATCC 15034, *Bacillus subtilis* ВКМ В501.

Методы анализа. Рентгенограммы осадков снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE (Германия) с вращением образца в Cu K_α -излучении. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Удельную поверхность образцов определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с использованием прибора «Сорбтометр-М» (Россия). Плотность образцов определяли пикнометрически.

Содержание ионов Co^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} и Mn^{2+} в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) на дуолучевом

спектрометре SOLAAR M6 (США) по аналитическим линиям 240,7; 460,7; 228,8; 213,9; 232,0; 324,8 и 279,5 нм соответственно.

Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре ЗОМЗ КФК-3-01 (Россия) при длине волны 657 нм.

Связывание микроорганизмов с сорбентом регистрировали турбидиметрическим методом по изменению концентрации клеток в водной среде с использованием спектрофотометра UV-1280 (Япония).

Изучение морфологии образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения Hitachi S5500 (Япония).

Результаты и обсуждение

Характеристика продуктов синтеза. Как видно из табл. 24.1, образование кристаллических фаз силикатов кальция (тоберморита $9\text{\AA}$ $\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, гидросиликата кальция $\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}/1,5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, ксонотлита $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$, волластонита CaSiO_3) характерно только в результате автоклавной обработки реакционных смесей при температуре 220°C . В составе осадков, образующихся без автоклавной обработки, помимо аморфной фазы, присутствует кристаллическая фаза кальцита CaCO_3 , образование которого связано с карбонизацией реакционной системы. В работе [14] было установлено, что количество CaCO_3 достигает 30 %, а с увеличением продолжительности экспозиции на воздухе во влажной атмосфере до 70 суток – 50 %, т.е. изначально исходный образец представляет собой композицию, в состав которой входят силикат, карбонат кальция и аморфный кремнезем. Устойчивость такой композиции к внешним факторам (влажность, температура, CO_2 воздуха) будет определять ее эксплуатационные характеристики и области применения, в том числе и при использовании в процессах сорбции [15, 16].

Таким образом, следует учитывать, что исследуемые сорбенты представляют собой многокомпонентные системы, и при исследовании механизма сорбции необходимо учитывать возможность взаимодействия солей металлов и других поллютантов с гидросиликатом кальция, CaCO_3 , SiO_2 и примесями, содержащимися в выбранных отходах.

Извлечение ионов тяжелых металлов. Силикаты кальция и материалы на их основе широко представлены в отечественной и зарубежной литературе. В табл. 24.2 указан ряд соединений, относящихся к данному классу, приведены примеры некоторых материалов на основе силикатов кальция, которые были исследованы в процессах сорбции ионов тяжелых металлов. В ряде работ изучен и механизм взаимодействия солей тяжелых металлов с силикатами кальция. Следует отметить, что существенная часть материалов на основе силикатов кальция, приведенная в табл. 24.2, синтезирована с использованием природного и техногенного сырья; и это далеко не исчерпывающий их перечень.

В таблице 24.3 приведены некоторые результаты собственных исследований авторов по материалам на основе силикатов кальция, полученных как в модельных системах, так и из техногенных отходов.

Как видно из представленной таблицы, материалы на основе силикатов кальция из модельных систем, из растительных и промышленных отходов, представляют определенный интерес при их использовании в качестве сорбентов для очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов. Для корректного сравнения образцов по величинам сорбционной емкости необходимо проведе-

ние дополнительных исследований при одинаковых соотношениях твердой и жидкой фаз, диапазонах исходных концентраций, температурах. Однако на основе полученных данных, например, по сорбции ионов Co^{2+} из водных растворов без солевого фона [40] силикатами кальция, сорбционная емкость которых достигает $\sim 3,3$ ммоль/г, авторами работы совместно с учеными Дальневосточного федерального университета была показана возможность получения твердотельных керамических матриц состава $\text{CaCoSi}_2\text{O}_6$ методом искрового плазменного спекания (ИПС). Полученные матрицы с равномерным распределением кобальта по объему имели высокие значения относительной плотности (до 99,9%), прочности на сжатие (150–637,3 МПа) и микротвердости по Виккерсу (1,8–5,25 ГПа). Наибольшей устойчивостью к растворению обладали высокотемпературные образцы, полученные при температуре 1000 °С, где скорость выщелачивания кобальта (RCo) не превышала 10^{-7} г·см⁻²·сут⁻¹, а коэффициент диффузии (De) составлял $1,73 \cdot 10^{-17}$ см²/с. Высокое качество полученных продуктов подтверждено соответствием ГОСТ Р 50926–96, ANSI/ANS 16.1. Разработанные силикатные матрицы представляют практический интерес для технологий очистки и переработки радиоактивных отходов, создания радиоизотопной продукции [15, 53].

Таблица 24.2

Силикаты кальция, используемые для сорбции ионов тяжелых металлов

Сорбент	Сорбируемые ионы	Источник
Ксонотлит $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH})_2$ и волластонит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Sr^{2+} , Co^{2+}	[10, 17]
Волластонит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Ni^{2+} , Cu^{2+}	[18, 19]
11 Å тоберморит $\text{Ca}_{10}[\text{Si}_{12}\text{O}_{31}](\text{OH})_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Ni^{2+} , Co^{2+}	[20]
Ксонотлит, волластонит, тоберморит	Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+}	[21]
Ксонотлит и тоберморит	Ni^{2+} , Co^{2+}	[22]
Гидрометасиликат кальция CSH (I)	Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+}	[23–25]
Композитный сорбент на основе кальция, гидросиликата кальция C_3S и силикагеля	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+}	[16]
Тоберморит	Pb^{2+} , Cd^{2+}	[26–28]
Риверсайдит $\text{Ca}_5[\text{Si}_6\text{O}_{16}](\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+}	[29]
Мезопористый кальций-силикатный материал (MCSM)	Cd^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+}	[30, 31]
Аморфный гидросиликат кальция CSH (I)	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+}	[32]
Композитный адсорбент на основе гидроксиапатита/гидрата силиката кальция (HAP/C-S-H)	Pb^{2+}	[33]
Магнитный наноструктурированный гидросиликат кальция	Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , As^{5+} , Mo^{6+}	[34]

Окончание табл. 24.2

Сорбент	Сорбируемые ионы	Источник
Наноструктурированный гидрат силиката кальция, модифицированный Fe(III) и намагниченный коммерческими или синтетическими наночастицами магнетита	Cu^{2+} , Cd^{2+} , As^{5+} , Pb^{2+}	[35]
Гранулированный диффузионно-проницаемый сорбент на основе силиката кальция	Ce^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+}	[36]
Сорбент на основе Al-замещенного 11 Å тоберморита	Co^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+}	[37]
Аморфный иерархически структурированный нанокомпозитный сорбент на основе CSH	Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}	[38]
Немодифицированный и модифицированный полиэтиленгликолем гидросиликат кальция CSH (I)	Cu^{2+} , Cr^{6+}	[39]

Основным механизмом сорбции является катионный обмен ионов Ca^{2+} на ионы соответствующего металла Me^{2+} . Получаемые в выбранных условиях силикатно-кальциевые сорбенты представляют собой многокомпонентные системы, и при исследовании механизма сорбции ионов тяжелых металлов и радионуклидов необходимо учитывать возможность взаимодействия солей металлов с гидросиликатом кальция, CaCO_3 , SiO_2 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от выбранного вида исходного сырья и продуктов синтеза. С этой целью проведен расчет значений свободной энергии Гиббса ($\Delta G_{\text{х.р}}^\circ$) для соответствующих химических реакций (табл. 24.4) [54].

Таблица 24.3

Значения максимальной сорбционной емкости силикатов кальция из различного сырья по отношению к ионам тяжелых металлов

Сорбируемые ионы (сорбат)	Образец из табл. 24.1	Условия сорбции		Максимальная сорбционная емкость, A_m , ммоль·г ⁻¹	Источник
		Соотношение Т:Ж	Температура, °С		
Co^{2+} ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	МСК 20	1:40 / 1:400	20	3,32 / 1,1	[40, 41]
	МСК 220	1:400	20	0,5	[41]
	БГ СК 118	1:400	20–60	0,72–1,33	[42]
	РС	1:400	20	0,56	—
Cd^{2+} ($\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$)	МСК 20	1:40	20	1,76	[43]
	БГ СК 118	1:40	20	1,7	[43, 44]

Окончание табл. 24.3

Сорбируемые ионы (сорбат)	Образец из табл. 24.1	Условия сорбции		Максимальная сорбционная емкость, A_m , ммоль·г ⁻¹	Источник
		Соотношение Т:Ж	Температура, °С		
Pb²⁺ (PbCl ₂ ·2,5H ₂ O)	МСК 20	1:1000	20	4,3	[45]
	БГ СК 118	1:1000	20	2,73	[45]
Zn²⁺ (ZnCl ₂)	БГ СК 118	1:40	20	1,4	[46]
Ni²⁺ (Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O)	БГ СК 118	1:40	20	1,8	[47]
Cu²⁺ (CuCl ₂ ·2H ₂ O)	БГ СК 118	1:400, pH = 5,0	20	1,14	[48]
Sr²⁺ (SrCl ₂ ·6H ₂ O)	МСК 20	1:50 / 1:400	20	1,9 / 0,24–0,37	[41, 49, 50]
	БГ СК 118	1:50	20	2,45	[49]
	МСК 220	1:400	20–60	0,28–0,41	[41,51]
	РС	1:400	20	0,2–0,26	[52]

Таблица 24.4

Значения свободной энергии Гиббса ($\Delta G^\circ_{x,p}$) для реакций солей металлов с компонентами силикатных сорбентов, получаемых в различных многокомпонентных системах

Сорбат	Компоненты сорбента и значения $\Delta G^\circ_{x,p}$, кДж		
	CaSiO ₃	CaCO ₃	CaSO ₄
ZnCl ₂	–291,4	–249,6	–
Ni(NO ₃) ₂	–47,8	–	–
PbCl ₂	–210,6	–194,2	–188,4
CdCl ₂	–254,6	–241,7	–
SrCl ₂	–250,8	–268,4	–314,5
CoCl ₂	–31,6	–7,9	–

Как видно из табл. 24.4, термодинамически возможными, согласно рассчитанным значениям $\Delta G^\circ_{x,p}$, во всех случаях являются реакции взаимодействия солей металлов с силикатом кальция с образованием силикатов соответствующих металлов. Для сульфата кальция термодинамически возможными являются только реакции с хлоридами свинца и стронция. Для карбоната кальция термодинамически возможными являются все реакции. Расчет $\Delta G^\circ_{x,p}$ для реакции CaCO₃ с нитратом никеля не проводили.

Для ряда образцов были установлены кинетические закономерности сорбции ионов тяжелых металлов некоторыми исследуемыми сорбентами. В работе [55] изучена кинетика сорбции ионов тяжелых металлов (Co²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, Mn²⁺) сорбентом на основе гидросиликата кальция, полученным автоклавным методом из борогипса (БГ СК 118). Установлено (рис. 24.1), что равновесие

в распределении ионов металлов между раствором и сорбентом устанавливается через 30 мин для ионов Cu^{2+} , через 60 мин для ионов Mn^{2+} , через 120 мин для ионов Zn^{2+} и через 180 мин для ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} . Для ионов Co^{2+} времени эксперимента (300 мин) недостаточно для достижения равновесия. Однако степень извлечения ионов Co^{2+} через 300 мин достаточно высока и достигает 97,2 %. Показано, что практически во всех случаях (за исключением ионов Co^{2+}) кинетика сорбции ионов тяжелых металлов исследуемым силикатным сорбентом наилучшим образом описывается моделью псевдо-второго порядка.

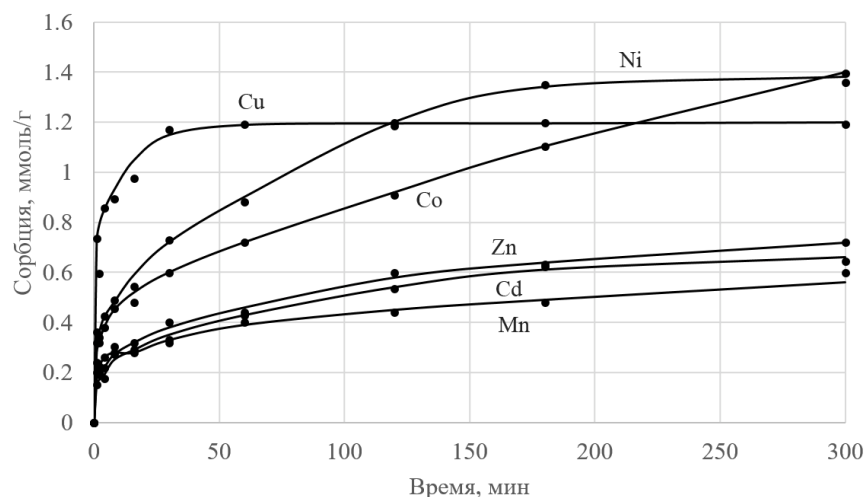


Рис. 24.1. Кинетические кривые сорбции ионов тяжелых металлов сорбентом БГ СК 118: 1 – Co^{2+} ; 2 – Ni^{2+} ; 3 – Cu^{2+} ; 4 – Zn^{2+} ; 5 – Cd^{2+} ; 6 – Mn^{2+}

Для аморфного силиката кальция, полученного в модельной системе (образец МСК 20), время достижения равновесия при сорбции ионов Sr^{2+} не превышает 30 мин, при этом при различных температурах (20, 40 и 60 °С) не наблюдается значительных изменений в кинетике извлечения Sr^{2+} , а сорбционная емкость возрастает от 0,25 до 0,262 ммоль/г. Для сорбента из рисовой соломы (РС) сорбционная емкость достигает максимума (~0,22 ммоль/г) в течение 5 мин, после чего наблюдается ее некоторое уменьшение (до 0,16–0,18 ммоль/г в зависимости от температуры), которое может быть связано как с присутствием органической составляющей в составе сорбента, так и с изменением pH со временем; объяснение данного эффекта требует дополнительных исследований [52]. Для образца МСК 220 время достижения равновесия при всех температурах не превышает 30 мин, однако при температуре 60 °С наблюдается некоторое снижение предельной сорбционной емкости. Для образца из борогипса (БГ СК 220) наблюдается аналогичная закономерность. Можно предположить, что это связано с компонентами сорбента, в частности с наличием частично непрореагировавшего сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, растворимость которого при повышении температуры снижается [56, 57]. Значение энергии активации процесса сорбции ионов Sr^{2+} , рассчитанное по экспериментальным данным для всех вышеуказанных сорбентов, находится в диапазоне 7,5–11,4 кДж/моль. Это довольно низкие величины, и характерной особенностью таких процессов является незначительное изменение скорости реакции катионного обмена с изменением температуры, что и подтверждено экспериментами [51, 56].

Сорбция метиленового синего. Известны работы по использованию различных силикатов для сорбции органических красителей [58], в том числе и с использованием силикатов кальция [59]. Сорбция метиленового синего подробно изучена на биогенном диоксиде кремния из шелухи риса [60]. Силикаты и алюмосиликаты представляют интерес в качестве сорбентов для полярных органических соединений, поскольку обладают высоким поверхностным зарядом, в силу чего проявляют более высокую сорбционную емкость, чем чистый диоксид кремния.

Сорбционные свойства ряда синтетических силикатов кальция, полученных с использованием кремнийсодержащего сырья минерального и растительного происхождения, были изучены на модельном красителе – метиленовом синем. Сорбцию исследовали в статических условиях, модель для обработки экспериментальных данных выбирали на основании значений коэффициента корреляции R^2 . Из ряда рассмотренных моделей (Ленгмюра, Фрейндлиха, Редлиха – Петерсона и Дубинина – Астахова) максимальные значения R^2 показала модель Редлиха – Петерсона, которая и была в дальнейшем использована для расчета значений предельной сорбционной емкости A_∞ (табл. 24.5).

Таблица 24.5

Параметры изотерм сорбции метиленового синего образцами силиката кальция минерального и растительного происхождения

№ п/п	Образец, условия синтеза	Выход на 100 г сырья, г	A_∞ (МС), мг/г (ммоль/г)
Образцы минерального происхождения			
1	БГ СК 220		23,8 (0,074)
2	БГ СК 220 – 6 ч		24,9 (0,078)
3	МСК 220		18,7 (0,058)
4	МСК 20		17,2 (0,054)
Образцы растительного происхождения			
5	pH = 6	8,4	97,4 (0,305)
6	pH = 7	9,0	107,9 (0,337)
7	pH = 8	16,8	61,9 (0,194)
8	pH = 7, Ca:Si = 0,1	4,5	120,8 (0,378)
9	pH = 7, Ca:Si = 0,15	3,5	106,3 (0,332)
10	pH = 7, Ca:Si = 0,43	17,4	53,8 (0,168)

Из таблицы 24.5 видно, что значение сорбционной емкости силикатов кальция минерального происхождения ниже по сравнению с силикатами кальция растительного происхождения. При этом у силикатов кальция из борогипса сорбционная емкость по МС несколько выше, чем у соединений из модельных систем. При этом увеличение продолжительности синтеза с 3 до 6 ч практически не влияет на сорбционную емкость сорбента, однако и выход продукта при синтезе увеличивается незначительно [61, 62].

Варьирование pH реакционной среды существенно влияет на выход синтетического силиката кальция из растительных отходов и его предельную сорбционную емкость (рис. 24.2). Оптимальным является нейтральное значение,

и величина $pH = 7$ была использована для синтеза в дальнейшем. При варьировании мольного соотношения кальция и кремния максимальное значение предельной сорбционной емкости наблюдается при соотношении $Ca:Si = 0,1:1$ (см. табл. 24.5, образец 8).

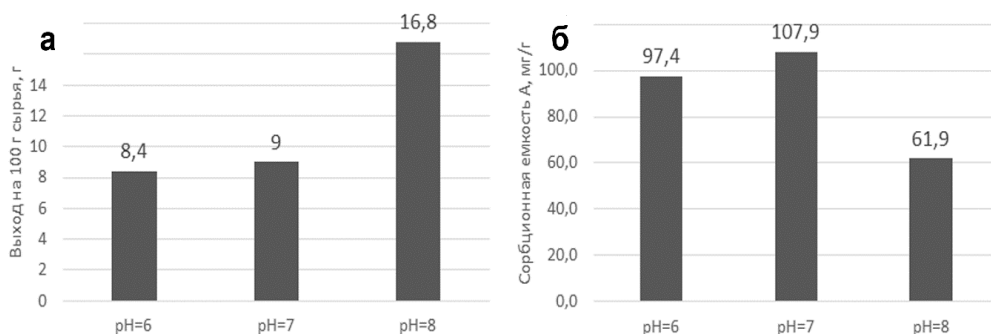


Рис. 24.2. Выход (а) и предельная сорбционная емкость по метиленовому синему (б) образцов силиката кальция при различных pH

При гидролитическом осаждении силикатных материалов из растительного сырья совместно с целевым соединением из раствора осаждаются органические вещества, преимущественно лигнин и гемицеллюлозы, которые попадают в щелочной гидролизат из растительных тканей. Таким образом, полученный материал представляет собой органо-неорганический композит из силиката кальция и лигнина [63]. По-видимому, наличие органической компоненты, количественный и качественный состав которой зависит как от кислотности реакционной среды, так и от режима осаждения, оказывает влияние на сорбционные свойства биогенного силиката кальция, полученного на основе растительного сырья, в том числе и на кинетические параметры сорбции МС (рис. 24.3).

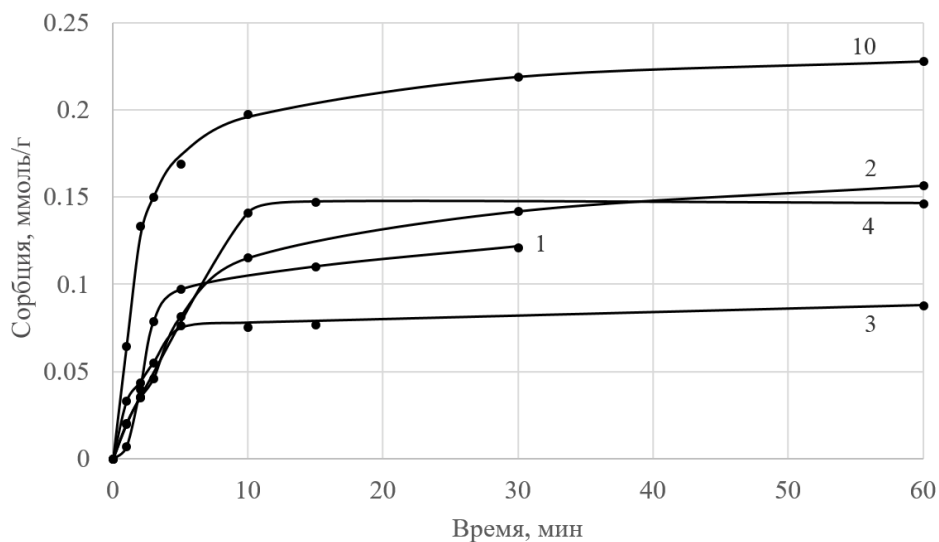


Рис. 24.3. Кинетические кривые сорбции метиленового синего на образцах силиката кальция (нумерация образцов по табл. 24.5)

Как видно из представленных кинетических кривых, время достижения равновесия при сорбции ионов для всех представленных образцов не превышает 30 мин, а для большинства образцов минерального происхождения составляет не более 15 мин. При этом сорбционная емкость силиката кальция растительного происхождения (образец 10) выше по сравнению с силикатами кальция, полученными из модельных систем и из отходов борного производства (образцы 1–4). Среди силикатов минерального происхождения наибольшее значение сорбционной емкости ($\sim 0,15$ ммоль/г) характерно для модельного силиката кальция (МСК 20), что согласуется с данными других авторов для немодифицированных гидросиликатов кальция [39, 59].

Сорбция микроорганизмов *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. Кинетика сорбции бактерий силикатами кальция была исследована для образцов МСК 20 и МСК 220 в работе [64]. Исследован состав, морфология и сорбционные свойства синтетических силикатов кальция по отношению к микроорганизмам *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. Установлено, что наибольшая сорбционная емкость исследуемых образцов наблюдается по отношению к бактериям *Escherichia coli* (до 79,4%). Эффективность сорбции *Bacillus subtilis* ниже по сравнению с *Escherichia coli* (до 45,5 %). С использованием уравнения кинетики топохимических реакций определены кинетические параметры исследуемого процесса.

На рисунке 24.4 приведены данные по эффективности сорбции бактерий силикатами из модельных систем и из борогипса.

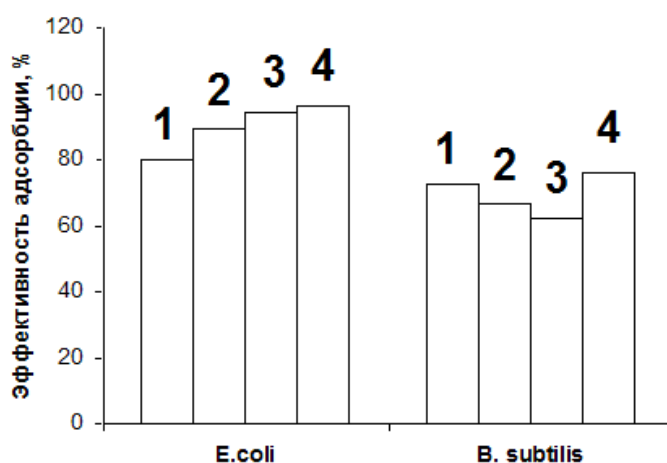


Рис. 24.4. Эффективность сорбции *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* силикатами кальция из модельных систем и из борогипса: 1 – МСК 20; 2 – МСК 220; 3 – БК СК 220; 4 – БГ СК 220 – 6 ч

Как видно из представленного рисунка наибольшая сорбционная емкость наблюдается по отношению к бактериям *Escherichia coli* для всех исследуемых образцов. При этом наибольшей сорбционной емкостью характеризуются образцы, полученные из отходов борного производства методом автоклавного синтеза в течение 3 и 6 ч. Через 120 мин эффективность сорбции составляет 94,3 и 96,4% соответственно. Эффективность сорбции культуры *Bacillus subtilis* ниже по сравнению с *Escherichia coli*. Аналогичная закономерность наблюдалась для образцов на основе аморфного диоксида кремния и алюмосиликатов, получен-

ных из шелухи и соломы риса [65]. При этом для образца БГ СК 220 – 6 ч эффективность адсорбции выше по сравнению с другими исследуемыми образцами, как при сорбции *Escherichia coli*, так и *Bacillus subtilis*. Возможно, это связано с большей величиной удельной поверхности данного образца и большей продолжительностью автоклавного синтеза (6 ч), что было отмечено в работе [62]. Кроме того, эффективность образцов, полученных из отходов, можно объяснить игольчатой морфологией частиц гидросиликатов кальция (тоберморита, ксонотлита), формирующихся в гидротермальных условиях (рис. 24.5) [66].

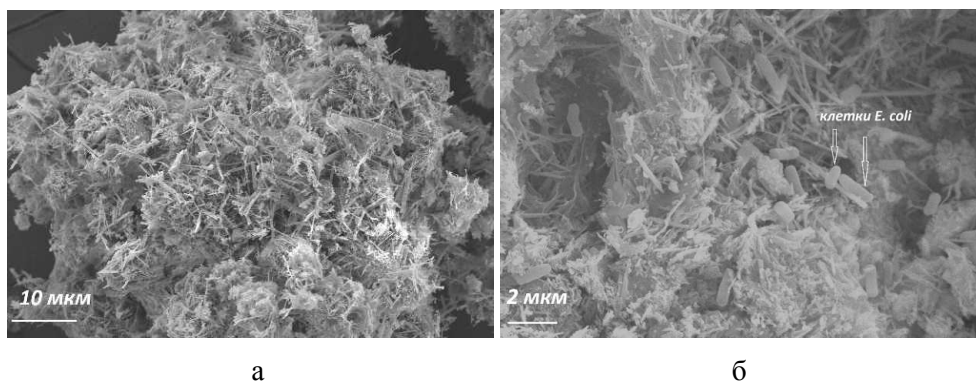


Рис. 24.5. СЭМ изображения микрочастиц образца БГ СК 220 – 6 ч:
а – исходный образец; б – после сорбции *Escherichia coli*

В таблице 24.6 приведены сравнительные данные по сорбции *E. coli* и *B. subtilis* исследуемыми образцами через 1 и 2 ч. В качестве образца сравнения использовали известный и широко используемый препарат – энтеросорбент на основе диоксида кремния с ярко выраженными сорбционными свойствами, который выпускается под торговым названием «Белый уголь». Этот препарат способствует абсорбции из желудочно-кишечного тракта и выведению из организма экзо- и эндогенных токсических веществ различного происхождения (в т.ч. продуктов жизнедеятельности патогенных микроорганизмов, пищевых и бактериальных аллергенов) [67, 68]. Для препарата «Белый уголь» эксперимент в течение 2 ч не проводили, поэтому в табл. 24.6 представлены данные через 1 и 24 ч контакта образцов с культурами микроорганизмов.

Таблица 24.6

Эффективность сорбции, %, бактерий *E. coli* и *B. subtilis* препаратом «Белый уголь»

Бактерии	Образцы									
	Белый уголь		МСК 20		МСК 220		БК СК 220		БГ СК 220 – 6 ч	
	1 ч	24 ч	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч
<i>E. coli</i>	70,5	85,8	76,3	80,3	81,8	89,3	83,3	94,3	77,1	96,4
<i>B. subtilis</i>	43,2	45,8	51,9	72,7	50,7	66,7	40,1	62,5	64,0	76,5

Как видно из представленной таблицы, уже через 2 ч эффективность адсорбции бактерий *E. coli* и *B. subtilis* образцами силикатов кальция выше по сравнению с

препаратом «Белый уголь», даже после 24 ч контакта с культурами микроорганизмов. Аналогичная закономерность характерна и для данных, полученных через 1 ч контакта. Полученные данные представляют определенный практический интерес для дальнейших исследований по оценке возможности применения силикатов кальция в процессах микробиологической очистки водных сред и производства лекарственных препаратов (в случае модельных силикатов).

Заключение

Проведенные авторами исследования позволяют сделать вывод об определенных перспективах применения силикатов кальция в качестве сорбентов тяжелых металлов, долгоживущих радионуклидов, органических красителей, условно-патогенных микроорганизмов. В работе представлена лишь часть исследований, требующих дальнейшего развития, по установлению взаимосвязи типа исходного сырья, условий синтеза, состава, структуры получаемых силикатов кальция с их свойствами для выработки конкретных практических рекомендаций по использованию данных соединений при использовании в качестве сорбентов различных поллютантов. Тем не менее представленные авторами результаты собственных исследований, в сравнении с работами отечественных и зарубежных ученых, позволяют наметить ряд направлений, связанных с получением и применением экологически безопасных материалов на основе силикатов кальция, с вовлечением широкого спектра кальций- и кремнийсодержащих соединений, входящих в состав отходов растительного и минерального происхождения.

Благодарности. Регистрационные номера тем в Плане Научного совета РАН по физической химии (секция «Адсорбционные явления») – 22–03–460–05 и 22–03–460–07. Работа выполнена в рамках гос. задания Института химии ДВО РАН № FWFN (0205)–2022–0002. Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Дальневосточный центр структурных исследований» ИХ ДВО РАН и ЦКП «Приморский центр локального, элементного и изотопного анализа» ДВГИ ДВО РАН.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Barrera, K. Treatment of acidic mine drainage in an adsorption process using calcium silicate modified with Fe(III) / K. Barrera, A. Briso, V. Ide [et al.] // Hydro-metallurgy. – 2017. – Vol. 172. – P. 19–29.
2. Shao, N. An all-in-one strategy for the adsorption of heavy metal ions and photodegradation of organic pollutants using steel slag-derived calcium silicate hydrate / N. Shao, S. Li, F. Yan [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 382. – P. 121120.
3. Ma, J. Heavy metal removal from aqueous solutions by calcium silicate powder from waste coal fly-ash / J. Ma, G. Qin, Y. Zhang [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 182. – P. 776–782.
4. Qi, G. Coal fly ash-derived mesoporous calcium-silicate material (MCSM) for the efficient removal of Cd(II), Cr(III), Ni(II) and Pb(II) from acidic solutions / G. Qi, X. Lei, L. Li [et al.] // Procedia Environmental Sciences. – 2016. – Vol. 31. – P. 567–576.
5. Qi, F. Eco-utilization of silicon-rich lye: Synthesis of amorphous calcium silicate hydrate and its application for recovering heavy metals / F. Qi, G. Zhu, Y. Zhang [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2022. – Vol. 282. – P. 120092.

6. Briso, A. Integrated use of magnetic nanostructured calcium silicate hydrate and magnetic manganese dioxide adsorbents for remediation of an acidic mine water / A. Briso, G. Quintana, V. Ide [et al.] // *Journal of Water Process Engineering*. – 2018. – Vol. 25. – P. 247–257.
7. Shao, N. Hierarchically Structured Calcium Silicate Hydrate-Based Nanocomposites Derived from Steel Slag for Highly Efficient Heavy Metal Removal from Wastewater / N. Shao, S. Tang, Z. Liu [et al.] // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2018. – Vol. 6, no. 11. – P. 14926–14935.
8. Brodnax, L.F. Preparation of Calcium Silicate Absorbent from Iron Blast Furnace Slag / L.F. Brodnax, G.T. Rochelle // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2000. – Vol. 50. – P. 1655–1662.
9. Папынов, Е.К. Sorption of Phosphates on Macroporous Synthetic Calcium Silicates / Е.К. Папынов, И.С. Трухин, В.Ю. Mayorov [et al.] // *Doklady Physical Chemistry*. – 2017. – Vol. 473. – P. 61–65.
10. Гладун, В.Д. Синтетические силикаты кальция / В.Д. Гладун, Л.В. Акатьева, А.И. Холькин. – Москва: ИРИСБУК, 2011. – 232 с.
11. Ярусова, С.Б. Сорбционные свойства алюмосиликатов натрия и калия из щелочных гидролизатов соломы риса / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, А.Е. Панасенко [и др.] // *Журнал физической химии*. – 2019. – Т. 93, № 2. – С. 278–283.
12. Патент № 2770075. Способ получения волластонита из кремнийсодержащего растительного сырья: № 2021119107: заявл. 29.06.2021; опубл. 14.04.22, Бюл. № 11 / Ярусова С.Б., Панасенко А.Е., Гордиенко П.С., Земнухова Л.А.; заявитель ИХ ДВО РАН. – 11 с.
13. Патент № 2595682. Способ получения волластонита: № 2015141614/05: заявл. 30.09.2015; опубл. 27.08.16, Бюл. № 24 / Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Козин А.В., Степанова В.А., Шабалин И.А., Жевтун И.Г.; заявитель ИХ ДВО РАН; ВГУЭС. – 9 с.
14. Гордиенко, П.С. Влияние гидратации и атмосферного воздуха на сорбционные свойства и фазовый состав гидросиликата кальция / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, А.П. Супонина [и др.] // *Экологическая химия*. – 2014. – Т. 23, № 2. – С. 102–109.
15. Shichalin, O.O. Synthesis and spark plasma sintering of solid-state matrices based on calcium silicate for ^{60}Co immobilization / O.O. Shichalin, S.B. Yarusova, A.I. Ivanets [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2022. – Vol. 912. – P. 165233.
16. Chen, Q. Characterization of carbonated tricalcium silicate and its sorption capacity for heavy metals: A micron-scale composite adsorbent of active silicate gel and calcite / Q. Chen, C. D. Hills, M. Yuan [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – Vol. 153, no. 1-2. – P. 775–783.
17. Акатьева, Л.В. Синтез и физико-химические свойства ксонотлита и волластонита: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.01 / Акатьева Лидия Викторовна. – Москва, 2003. – 238 с.
18. Sharma, Y.C. Use of wollastonite in the removal of Ni(II) from aqueous solutions / Y.C. Sharma, G.S. Gupta, G. Prasad, D.C. Rupainwar // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1990. – Vol. 49. – P. 69–79.
19. Panday, K.K. Use of wollastonite for the treatment of Cu (II) rich effluents / K.K. Panday, G. Prasad, V.N. Singh // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1986. – Vol. 27. – P. 287–296.

20. Shrivastava, O.P. Ion-exchange properties of 11-Å tobermorite / O.P. Shrivastava, F.P. Glasser // *Reactivity of Solids*. – 1986. – Vol. 2. – P. 261–268.
21. Komarneni, S. Reactions of some calcium silicates with metal cations / S. Komarneni, E. Breval, D.M. Roy, R. Roy // *Cement and concrete research*. – 1988. – Vol. 18. – P. 204–220.
22. Komarneni, S. Pseudomorphism in xonotlite and tobermorite with Co^{2+} and Ni^{2+} exchange for Ca^{2+} at 25 °C / S. Komarneni, R. Roy, D.M. Roy // *Cement and concrete research*. – 1986. – Vol. 16. – P. 47–48.
23. Григорян, Г.О. Взаимодействие гидрометасиликата кальция с водными растворами хлоридов тяжелых металлов / Г.О. Григорян, О.В. Григорян, Г.А. Арутюнян, Л.Г. Багинова // *Химический журнал Армении*. – 1998. – № 2. – С. 3–10.
24. El-Korashy, S.A. Synthetic crystalline calcium silicate hydrate (I): cation exchange and caesium selectivity / S.A. El-Korashy // *Monatshefte für Chemie*. – 2002. – Vol. 133. – P. 333–343.
25. Ziegler, F. Sorption mechanisms of zinc to calcium silicate hydrate: sorption and microscopic investigations / F. Ziegler, R. Gieré, C.A. Johnson // *Environmental Science & Technology*. – 2001. – Vol. 35, no. 22. – P. 4556–4561.
26. Labhasetwar, N. $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Pb}^{2+}$ exchange reaction of calcium silicate hydrate: $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ / N. Labhasetwar, O.P. Shrivastava // *Journal of materials science*. – 1989. – Vol. 24. – P. 4359–4362.
27. Coleman, N.J. Interactions of Cd(II) with waste-derived 11 Å tobermorites / N.J. Coleman // *Separation and Purification Technology*. – 2006. – Vol. 48. – P. 62–70.
28. Coleman, N.J. Sorption of Co^{2+} and Sr^{2+} by waste-derived 11 Å tobermorite / N.J. Coleman, D.S. Brassington, A. Raza, A.P. Mendham // *Waste Management*. – 2006. – Vol. 26. – P. 260–267.
29. Ma, J. Heavy metal removal from aqueous solutions by calcium silicate powder from waste coal fly-ash / J. Ma, G. Qin, Y. Zhang [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 182. – P. 776–782.
30. Qi, G. Coal fly ash-derived mesoporous calcium-silicate material (MCSM) for the efficient removal of Cd(II), Cr(III), Ni(II) and Pb(II) from acidic solutions / G. Qi, X. Lei, L. Li [et al.] // *Procedia Environmental Sciences*. – 2016. – Vol. 31. – P. 567–576.
31. Qi, G. Preparation and evaluation of a mesoporous calcium-silicate material (MCSM) from coal fly ash for removal of Co(II) from wastewater / G. Qi, X. Lei, L. Li [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2015. – Vol. 279. – P. 777–787.
32. Qi, F. Eco-utilization of silicon-rich lye: Synthesis of amorphous calcium silicate hydrate and its application for recovering heavy metals / F. Qi, G. Zhu, Y. Zhang [et al.] // *Separation and Purification Technology*. – 2022. – Vol. 282. – P. 120092.
33. Zhang, Z. Removal of Pb(II) from aqueous solution using hydroxyapatite/calcium silicate hydrate (HAP/C-S-H) composite adsorbent prepared by a phosphate recovery process / Z. Zhang, X. Wang, H. Wang, J. Zhao // *Chemical Engineering Journal*. – 2018. – Vol. 344. – P. 53–61.
34. Briso, A. Integrated use of magnetic nanostructured calcium silicate hydrate and magnetic manganese dioxide adsorbents for remediation of an acidic mine water / A. Briso, G. Quintana, V. Ide [et al.] // *Journal of Water Process Engineering*. – 2018. – Vol. 25. – P. 247–257.
35. Valenzuela, F. Cu(II), Cd(II), Pb(II) and As(V) adsorption from aqueous solutions using magnetic iron-modified calcium silicate hydrate: Adsorption kinetic analysis / F. Valenzuela, G. Quintana, A. Briso [et al.] // *Journal of Water Process Engineering*. – 2021. – Vol. 40. – P. 101951.

36. Михайлов, Г.Г. Композиционный сорбент для иммобилизации катионов тяжелых металлов и радионуклидов из техногенных отходов металлургических предприятий / Г.Г. Михайлов, А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер, В.А. Скотников // Труды Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований» V Форума «Уральский рынок лома, промышленных и коммунальных отходов». – Екатеринбург: УрО РАН, 2017. – С. 457–460.

37. Coleman, N.J. Calcium silicate sorbent from secondary waste ash: heavy metals-removal from acidic solutions / N.J. Coleman, D.S. Brassington, A. Raza, W.E. Lee // *Environmental Technology*. – 2006. – Vol. 27:10. – P. 1089–1099.

38. Shao, N. Hierarchically structured calcium silicate hydrate-based nanocomposites derived from steel slag for highly efficient heavy metal removal from waste water / N. Shao, S. Tang, Z. Liu [et al.] // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2018. – Vol. 6, no. 11. – P. 14926–14935.

39. You, W. Functionalized calcium silicate nanofibers with hierarchical structure derived from oyster shells and their application in heavy metal ions removal / W. You, M. Hong, H. Zhang [et al.] // *Phys. Chem. Chem. Phys.* – 2016. – Vol. 18. – P. 15564–15573.

40. Гордиенко, П.С. Сорбционные свойства материалов на основе силикатов кальция по отношению к ионам Co^{2+} / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, С.Б. Буланова [и др.] // *Химическая технология*. – 2011. – Т. 12, № 5. – С. 282–290.

41. Балыбина, В.А. Сорбция ионов Co^{2+} и Sr^{2+} силикатами кальция / В.А. Балыбина, Е.А. Нехлюдова, С.Б. Ярусова [и др.] // Тез. докл. XXV Всероссийской конференции молодых ученых-химиков (с международным участием). Нижний Новгород, 19–21 апреля 2022 г. – Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2022. – С. 268.

42. Балыбина, В.А. Влияние температуры на сорбцию ионов Co^{2+} материалом на основе техногенных отходов / В.А. Балыбина, С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко [и др.] // Тез. докл. XII Конференции молодых ученых по общей и неорганической химии. Москва, 5–8 апреля 2022 г. – Москва: ООО «Месол», 2022. – С. 13.

43. Гордиенко, П.С. Сорбция ионов Cd^{2+} силикатными материалами синтетического и техногенного происхождения / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, А.П. Супонина, Л.В. Якименко // *Экологическая химия*. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 41–47.

44. Гордиенко, П.С. Сорбция ионов Cd^{2+} продуктом щелочной обработки отходов борного производства / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, А.П. Супонина [и др.] // *Журнал прикладной химии*. – 2014. – Т. 87, № 1. – С. 81–86.

45. Yarusova, S.B. Sorption characteristics of economically viable silicate sorbents for sequestration of lead ions from aqueous solutions / S.B. Yarusova, P.S. Gordienko, R. Krishna [et al.] // *Resource-Efficient Technologies*. – 2017. – Vol. 3. – P. 213–221.

46. Ярусова, С.Б. Использование силикатного сорбента для очистки водных растворов от ионов Zn^{2+} / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, И.Ю. Буравлев [и др.] // *Успехи современного естествознания*. – 2018. – № 3. – С. 39–43.

47. Ярусова, С.Б. Сорбция ионов Ni^{2+} силикатным сорбентом из отходов борного производства / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, Р.Г. Мелконян [и др.] // *Техника и технология силикатов*. – 2013. – Т. 20, № 3. – С. 20–27.

48. Ярусова, С.Б. Извлечение ионов Cu^{2+} из водных растворов материалом на основе гидросиликата кальция / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, Ю.А. Азарова, М.Г. Блохин // Сб. матер. III Международной конференции по химии и химической технологии. Республика Армения, г. Ереван, 16–20 сентября 2013 г. – Ереван, 2013. – С. 557–559.

49. Ярусова, С.Б. Сорбция ионов Sr^{2+} силикатными материалами синтетического и техногенного происхождения / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, Г.Ф. Крысенко, Ю.А. Азарова // Неорганические материалы. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 1–7.

50. Ярусова, С.Б. Сорбенты на основе силикатов кальция / С.Б. Ярусова, А.Е. Панасенко, С.Н. Сомова [и др.] // Сб. матер. V Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов». г. Иваново, 30 июня – 2 июля 2021 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2021. – С. 204–206.

51. Ярусова, С.Б. Исследование сорбции стронция аморфным силикатом кальция / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, О.О. Шичалин [и др.] // Журнал неорганической химии. – 2022. – Т. 67, № 9. – С. 1251–1257.

52. Панасенко, А.Е. Силикатный сорбент из рисовой соломы / А.Е. Панасенко, С.Б. Ярусова, С.Н. Сомова [и др.] // Тез. докл. Всероссийской конференции с международным участием (к 120-летию со дня рождения М.М. Дубинина) «Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов». Москва, 18–22 октября 2021 г. – Москва: ИФХЭ РАН, 2021. – С. 187–190.

53. Шичалин, О.О. Керамические матрицы на основе волластонита, полученные методом искрового плазменного спекания для иммобилизации кобальта-60 / О.О. Шичалин, С.Б. Ярусова, Е.К. Папынов [и др.] // Тез. докл. Всероссийской конференции с международным участием (к 120-летию со дня рождения М.М. Дубинина) «Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов». Москва, 18–22 октября 2021 г. – Москва: ИФХЭ РАН, 2021. – С. 195–198.

54. Ярусова, С.Б. Исследование сорбции тяжелых металлов сорбентами на основе силикатов кальция, полученными из техногенных отходов переработки борсодержащего минерального сырья / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, Ю.А. Азарова // Сб. матер. XVI Международной научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов, аспирантов и молодых исследователей «Интеллектуальный потенциал ВУЗов – на развитие Дальневосточного региона России и стран АТР», г. Владивосток, 17–18 апреля 2014 г. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2014. – С. 147–156.

55. Ярусова, С.Б. Кинетика сорбции ионов тяжелых металлов сорбентом, полученным из отходов производства борной кислоты / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, А.А. Юдаков [и др.] // Химическая технология. – 2015. – Т. 16, № 10. – С. 620–624.

56. Ярусова, С.Б. Влияние температуры на кинетику извлечения ионов Sr^{2+} силикатами кальция / С.Б. Ярусова, А.Е. Панасенко, П.С. Гордиенко [и др.] // Сб. трудов Всероссийского симпозиума с международным участием «Актуальные физико-химические проблемы адсорбции и синтеза нанопористых материалов» (памяти чл.-корр. РАН В.А. Авраменко). Москва, 17 октября 2022 г. – Москва: ИФХЭ РАН, 2022. – С. 158–162.

57. Балыбина, В.А. Кинетика извлечения ионов Sr^{2+} сорбентом из промышленных отходов / В.А. Балыбина, С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко [и др.] // Материалы молодежной тематической конференции «Окружающая среда и устойчивое развитие – общая ответственность и забота». Владивосток, 25 апреля 2022 г. – Владивосток: Литера В, 2022. – С. 19–21.
58. Sheng, J. Adsorption of methylene blue from aqueous solution on pyrophyllite / J. Sheng, Y. Xie, Y. Zhou // *Applied Clay Science*. – 2009. – Vol. 46. – P. 422–424.
59. Maeda, H. Hydrothermal preparation of diatomaceous earth combined with calcium silicate hydrate gels / H. Maeda, E.H. Ishida // *Journal of Hazardous Materials*. – 2011. – Vol. 185. – P. 858–861.
60. Arefieva, O.D. Removal of methylene blue from aqueous solutions by adsorption on amorphous silicon dioxide from rice husks / O.D. Arefieva, V.A. Gorlova, M.A. Tsvetnov, L.A. Zemnukhova // *Water Practice and Technology*. – 2021. – Vol. 16. – P. 351–363.
61. Гордиенко, П.С. Кинетические закономерности автоклавного синтеза гидросиликатов кальция из отходов производства борной кислоты / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, А.В. Козин [и др.] // Сб. матер. V Международной конференции по химии и химической технологии. Республика Армения, г. Ереван, 25–29 сентября 2017 г. – Ереван: ИОНХ НАН РА, 2017. – С. 62–64.
62. Ярусова, С.Б. Синтез сорбента на основе техногенных отходов и возможности его использования для очистки водных сред от различных поллютантов / С.Б. Ярусова, А.Е. Панасенко, У.В. Харченко [и др.] // Сб. матер. Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире». г. Казань, 18–19 марта 2021 г. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2021. – С. 542–545.
63. Панасенко, А.Е. Алюмосиликаты из соломы риса: получение и сорбционные свойства / А.Е. Панасенко, П.Д. Борисова, О.Д. Арефьева, Л.А. Земнухова // *Химия растительного сырья*. – 2019. – № 3. – С. 291–298.
64. Ярусова, С.Б. Влияние условий синтеза силикатов кальция на кинетику процесса микробиологической очистки водных сред / С.Б. Ярусова, С.Н. Сомова, У.В. Харченко [и др.] // *Журнал неорганической химии*. – 2021. – Т. 66, № 8. – С. 1025–1031.
65. Харченко, У.В. Сорбционные свойства кремнийсодержащих образцов по отношению к бактериям / У.В. Харченко, О.Д. Арефьева, А.Е. Панасенко [и др.] // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2020. – Т. 10, № 4 (35). – С. 603–612.
66. Kharchenko, U. Use of silicate by-products in water treatment processes and development of eco-friendly self-polishing antifouling coatings / U. Kharchenko, L. Zemnukhova, S. Yarusova [et al.] // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2022. – Vol.19, no. 7. – P. 5945–5956.
67. Охотникова, Е.Н. Использование энтеросорбента «Белый уголь» при аллергических заболеваниях у детей: результаты собственных исследований / Е.Н. Охотникова, Ю.И. Гладуш, Т.П. Иванова [и др.] // *Современная педиатрия*. – 2009. – № 4 (26). – С. 1–9.
68. Цибеева, Е.В. Оценка эффективности таблетированной формы кремнеземного энтеросорбента на основе оксида кремния у больных с наличием заболеваний гепатобилиарной системы / Е.В. Цибеева, Е.В. Максимова, К.Г. Заболотный // *Медицинский вестник МВД*. – 2017. – № 2 (87). – С. 15–20.

Информация об авторах

Ярусова Софья Борисовна, канд. хим. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории защитных покрытий и морской коррозии, Институт химии ДВО РАН; зав. базовой кафедрой экологии и экологических проблем химической технологии, Владивостокский государственный университет. E-mail: yarusova_10@mail.ru

Гордиенко Павел Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией защитных покрытий и морской коррозии, Институт химии ДВО РАН. E-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Панасенко Александр Евгеньевич, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией химии редких металлов, Институт химии ДВО РАН. E-mail: panasenko@ich.dvo.ru

Харченко Ульяна Валерьевна, канд. хим. наук, научный сотрудник лаборатории электрохимических процессов, Институт химии ДВО РАН. E-mail: ulyana-kchar@mail.ru

Беленева Ирина Алексеевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории морской микробиоты, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. E-mail: beleneva.vl@mail.ru

Нехлюдова Екатерина Александровна, младший научный сотрудник лаборатории защитных покрытий и морской коррозии, Институт химии ДВО РАН. E-mail: astapovnna@bk.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 24. THE POTENTIAL OF APPLYING SYNTHETIC CALCIUM SILICATES FOR THE PURIFICATION OF AQUEOUS MEDIA FROM VARIOUS POLLUTANTS

**Sofya B. Yarusova¹, Pavel S. Gordienko¹, Alexander E. Panasenko¹,
Ulyana V. Kharchenko¹, Irina A. Beleneva², Ekaterina A. Nekhludova¹**

Abstract. *The results of research on the synthesis and study of the sorption properties of calcium silicates obtained from various initial compounds (from model systems, as well as from plant waste (rice straw) and industrial waste (boric acid production waste) and under different synthesis conditions, in relation to heavy metal ions, methylene blue and conditionally pathogenic microorganisms Escherichia coli and Bacillus subtilis are presented.*

Keywords: *calcium silicates; plant waste; industrial waste; borogypsum; sorption properties; pollutants.*

¹ Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690022, Russia.

² National Scientific Center of Marine Biology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 17 Palchevskogo str., Vladivostok, 690041, Russia.

Information about authors

Sofya B. Yarusova, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory of protective coatings and marine corrosion, Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (IC FEB RAS); Head of the basic Department of Ecology and Environmental Problems of Chemical Technology, Vladivostok State University (VVSU). E-mail: yarusova_10@mail.ru

Pavel S. Gordienko, Dr. Sci., Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Laboratory of protective coatings and marine corrosion, IC FEB RAS. E-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Alexander E. Panasenko, Ph.D., Senior Researcher, Head of the Laboratory of Rare Metal Chemistry, IC FEB RAS. E-mail: panasenko@ich.dvo.ru

Ulyana V. Kharchenko, Ph.D., Researcher of the Electrochemical Processes Laboratory, IC FEB RAS. E-mail: ulyana-kchar@mail.ru

Irina A. Beleneva, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of marine microbiota of the National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS. E-mail: beleneva.vl@mail.ru

Ekaterina A. Nekhliudova, Junior Researcher of the Laboratory of protective coatings and marine corrosion, IC FEB RAS. E-mail: astapovnna@bk.ru

Глава 25. АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВОССТАНОВЛЕНИЮ БИОРАЗНООБРАЗИЯ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

П.А. Казанцев¹

Аннотация. Рассматривается архитектурно-градостроительный аспект восстановления биоразнообразия в границах урбанизированных территорий. Показано, что в условиях перехода к устойчивому развитию городская среда в том числе должна рассматриваться как направленно формируемая пространственная система, характеристики которой благоприятны для восстановления природного биоразнообразия. В этом контексте уточняется модель природного каркаса города, вводится понятие городской водосборной ткани, предлагаются приемы по архитектурно-экологической реновации городской территории.

Ключевые слова: экологический урбанизм; ландшафтный урбанизм; экологическая архитектура; устойчивое развитие; город-биотоп.

Сегодня достаточно хорошо известна Европейская хартия 1996 г. «За солнечную энергию в архитектуре и градостроительстве» (European Charter for Solar Energy in Architecture and Urban Planning). Ее инициировали и подписали звезды мировой архитектуры; среди них Норман Фостер, Ричард Роджерс, Николас Гримшоу, Ренцо Пиано, Никос Финтикакис и др. Авторы хартии провозгласили: «...Целью нашей работы в будущем должно быть такое проектирование зданий и городских пространств, которое сохраняло бы природные ресурсы и максимально использовало возобновляемые формы энергии, особенно солнечную» [1]. Можно вспомнить слова знаменитого Ле Корбюзье: «Любое жилье, даже отдельно стоящее жилище, ориентированное на север или лишенное солнца, будет сурово осуждено. Строители должны представить диаграмму, показывающую, что солнце будет проникать в каждое жилище минимум на два часа в день зимнего солнцестояния, в противном случае в разрешении на строительство будет отказано. Проектировать с учетом солнца – это новая и самая главная обязанность архитектора...» (ст. 26 Афинской хартии, 1933 г.) [2].

Вместе с тем солнечная, или биоклиматическая, архитектура – только одно из направлений экологического урбанизма (рис. 25.1). Адаптированный к энергии ветра и солнца пассивный дизайн зданий и открытых пространств, или биоклиматическое благоустройство территории, не может решить всех проблем устойчивого развития современных городов. Очевидно, что дело не только в энергоэффективности и сбережении ресурсов, но и в сохранении биоразнообразия нашей планеты как условия выживания человека. Согласно принципам экологического урбанизма комфортная для жителей городская среда формируется прежде всего через сохранение и восстановление исходного природного контекста, а также путем включения природных систем в городскую среду. Именно такой подход обеспечивает устойчивость антропогенной среды к погодным и климатическим изменениям, а горожан – ресурсами чистой воды и воздуха, способствует формированию благоприятного температурного и влажностного микроклимата застройки. Проектируя город, мы должны говорить о равенстве нормативных требований к формированию пространств для человека и для интегрированной в архитектуру природы.

¹ Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

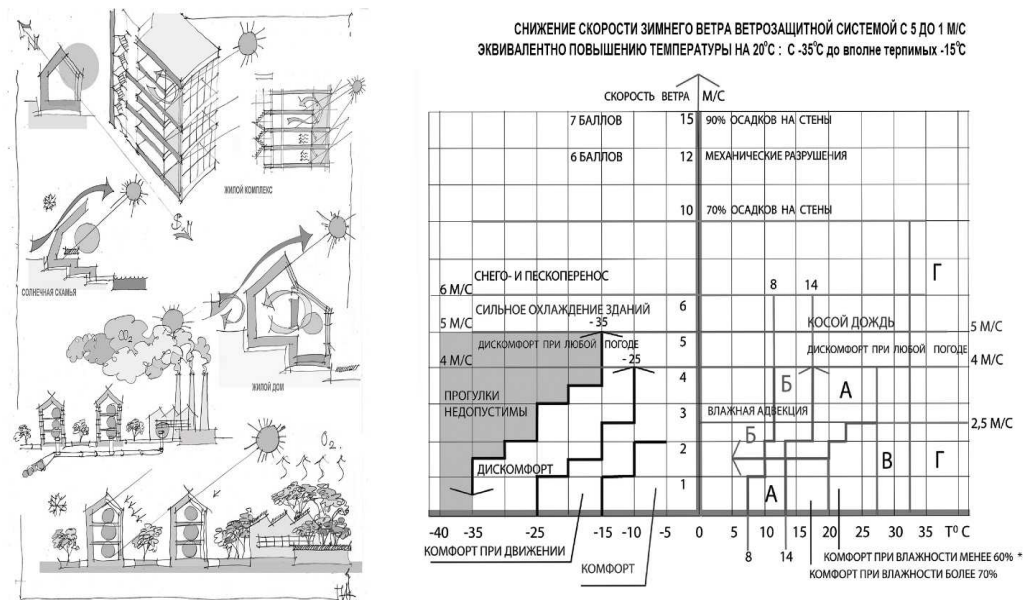


Рис. 25.1. Биоклиматическая архитектура, изменяющая характеристики ветрового и инсоляционного режима и формирующая тепловой комфорт на улице и в помещениях без участия инженерных систем. *Графика П. Казанцева*

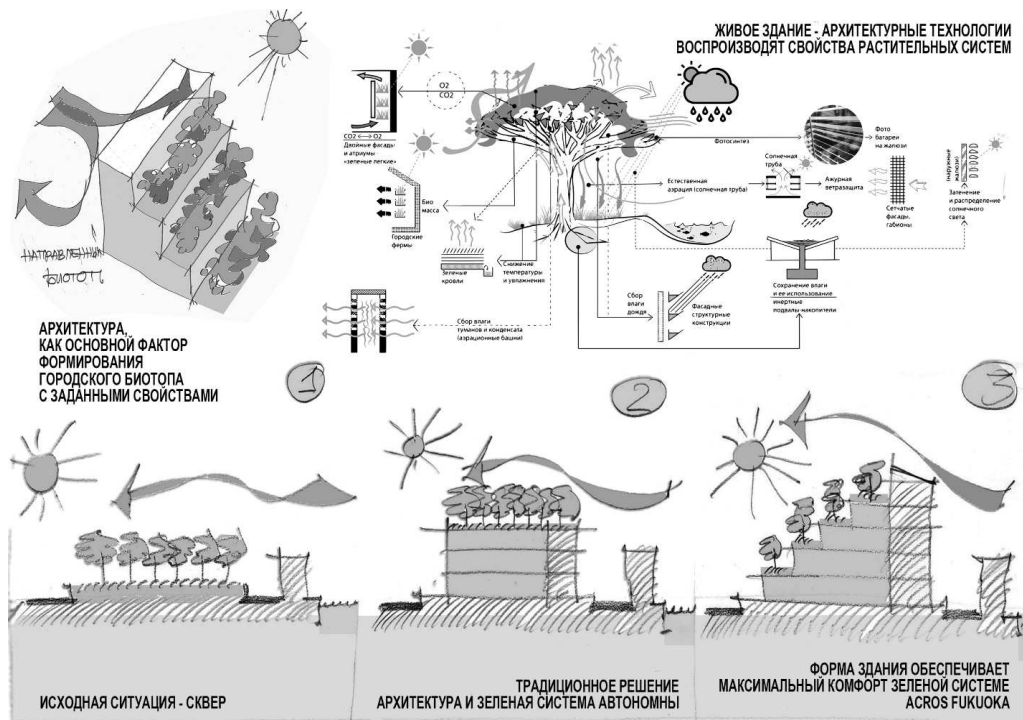


Рис. 25.2. Экологически устойчивая архитектура, воспроизводящая свойства утраченных растительных систем (живое здание) и формирующая пространства, благоприятные для их восстановления. *Графика П. Казанцева и К. Янишиной*

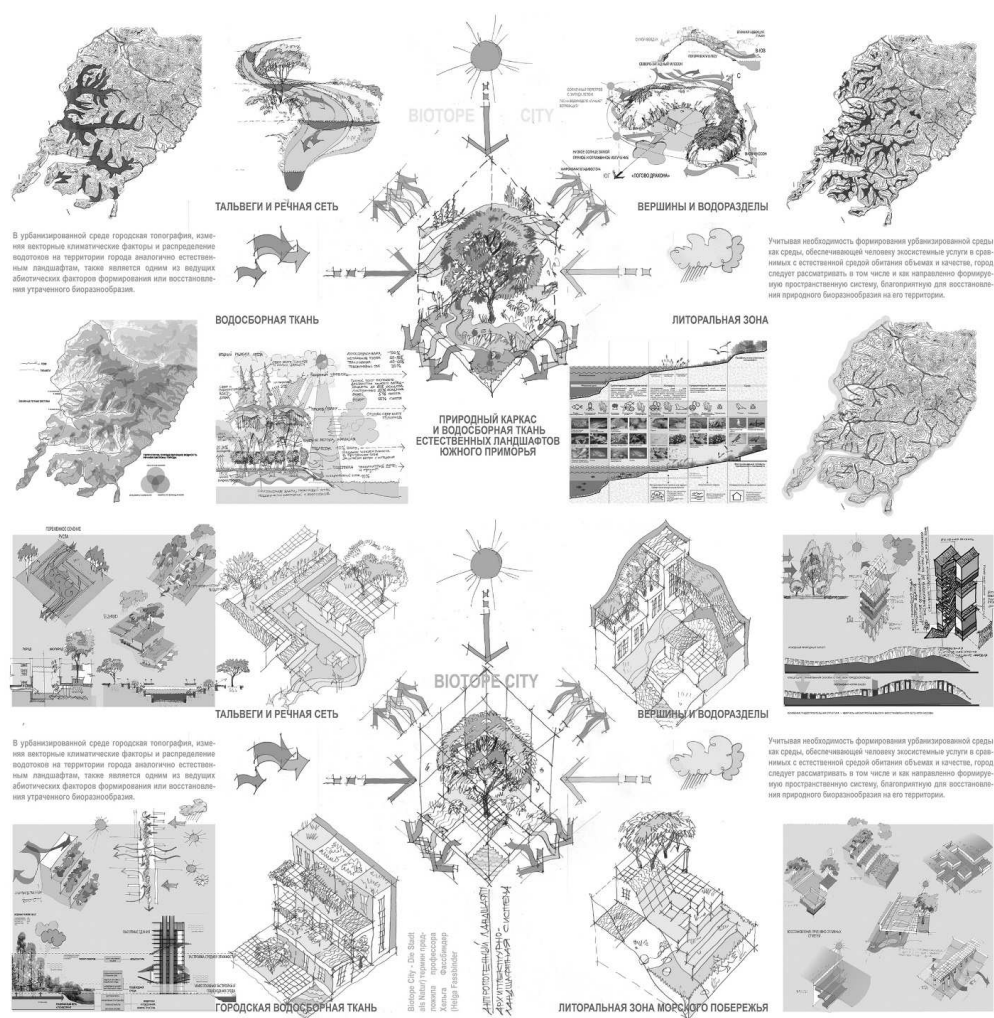


Рис. 25.3. Графическое представление города-биотопа как результата воплощения концепции доступной для природы городской среды (nature inclusive architecture).

Графика П. Казанцева

Зарубежные коллеги при проектировании устойчивой к климатическим изменениям жилой среды активно используют термин «биотоп». Например, известны проекты «Биотоп» (г. Виннерберг), «Биотопный город» и др., разработанные в рамках IBA_Vienna [3, 4]. По классическому определению биотоп (от греч. *βίος* – жизнь и *τόπος* – место) – относительно однородный по абиотическим факторам среды – физическим (микроклимат и рельеф) и химическим (состав атмосферы, воды, почвы) – участок геопространства (суши или водоёма), занятый определённым биоценозом [5]. В нашем случае городская топография является одним из ведущих абиотических факторов формирования или восстановления утраченного в урбанизированной среде биоразнообразия. Архитектурно-градостроительную организацию открытых, полуоткрытых и закрытых пространств следует рассматривать как тот же «орографический» фактор, взаимодействующий с климатом и водной средой и вполне подконтрольный архитектору, градостроителю или ландшафтному дизайнеру. Считая ключевой задачу формирова-

ния урбанизированной среды как среды, обеспечивающей человеку экосистемные услуги в сравнимых с естественной средой обитания объемах и качестве, сегодня вводят новое, расширенное определение устойчивой архитектуры как «архитектуры биоразнообразия» или «архитектуры, доступной для природы» (nature inclusive architecture) [6, 7]. Понимая под этим архитектуру, формирующую пространства, благоприятные для восстановления утраченного в городской среде биоразнообразия исходных природных систем (рис. 25.2).

В главе рассмотрен архитектурно-пространственный аспект формирования устойчивой городской среды, что, собственно, и является профессиональной сферой деятельности архитектора и градостроителя. В основе биоразнообразия природных территорий – вариативность воздействия солнца, ветра и водных потоков. Их движение в природе изменяет естественный ландшафт. Город – улицы, площади, придомовые территории, здания и их интерьеры – тот же ландшафт, только создает этот ландшафт не природа, а архитектор. Разбор средств, приёмов и методов формирования городских ландшафтов (абиотической составляющей городской экосистемы), интегрирующих природные системы, и составляет содержание главы (рис. 25.3).

Природный каркас

Традиционно понятие «природный каркас города» определяют как непрерывную планировочную систему открытых озелененных пространств и водно-болотных угодий урбанизированной территории. В данном определении ландшафтный фактор по умолчанию рассматривается как исходный, определяющий структуру водной и зеленой подсистем каркаса [8]. С учетом ландшафтно-климатических особенностей южного побережья Дальнего Востока, исторических особенностей и последовательности формирования застройки прибрежных городов в условиях мелкоопочного рельефа понятие природного каркаса применительно к целям экологической реновации городской территории в региональном контексте требует детализации.

Наиболее полно ландшафтными особенностям прибрежных городов юга Дальнего Востока будет отвечать модель природного каркаса, включающая в себя три подсистемы: вершины и водоразделы сопок; тальвеги и низины с сетью рек и ручьев; литоральную зону морского побережья, включая не только сухопутную часть, но и приливную зону и мелководья прибрежной морской акватории (рис. 25.4). Характеристики водотоков на территории города и, соответственно, качество городских зеленых систем будет определять городская водосборная ткань, а именно степень ее проницаемости (пористости) для атмосферных осадков (дожди, морские туманы) и талых вод.

Рассматривая водную подсистему природного каркаса в первую очередь следует разделять литоральную зону морского побережья города и сеть пресноводных водотоков – речек и ручьев. Утраченные водотоки – городские ручьи и притоки рек, замещенные улично-дорожной сетью, продолжают выполнять функцию поверхностных водотоков и в условиях экологической реновации урбанизированной территории должны рассматриваться как часть водного каркаса города. Водосборная городская ткань как территория массовой застройки равнинных участков и склонов, определяющая характеристики водосбора городских ручьев и рек, должна быть дифференцирована по признаку сезонного влияния векторных климатических факторов – ветра и солнечной радиации – на

режим осадков и увлажнения поверхности со сложным рельефом. Сезонное влияние ветра и солнечной радиации на гидрологический режим территорий со сложным рельефом также должно быть учтено в процессе последующей реновации, при выборе пространственных характеристик городской застройки, восстанавливающих ее естественный гидрологический режим.

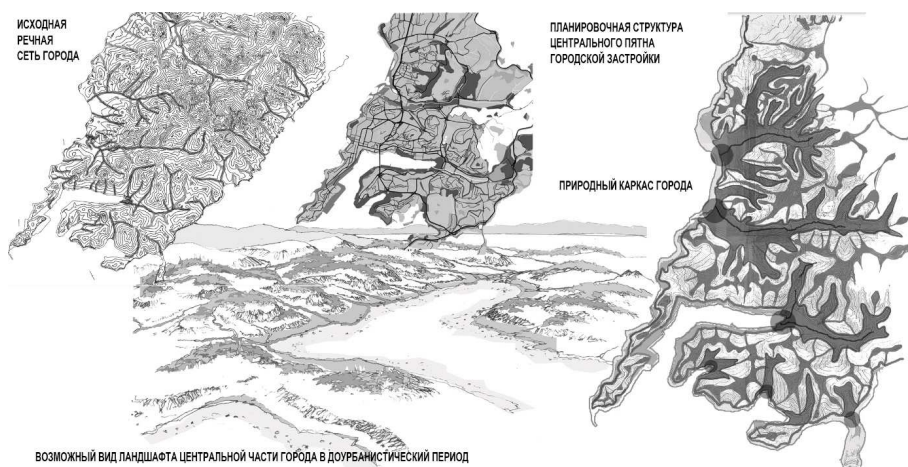


Рис. 25.4. Природный каркас основного градостроительного пятна Владивостока.

Графика П. Казанцева, Я. Марус и А. Смеловской

Вершины и водоразделы

Вершины и водоразделы городских сопок, покрытые существующими лесами, следует рассматривать как самостоятельную часть открытых зеленых пространств природного каркаса города. Такая трактовка роли озелененных вершин и водоразделов в формировании комфортной среды в условиях муссонного климата Восточной Азии не нова и имеет историю более 5000–6000 лет (леса фен-шуй) [9]. В древнекитайской градостроительной практике большое внимание уделялось наличию и сохранению лесов, покрывающих водоразделы ближайших к поселению сопек. Людей, пытавшихся срубить «лес фен-шуй», строго наказывали, а порой казнили. В этом был скрыт глубокий смысл: леса на сопках с севера укрывали постройки от студеной зимних континентальных ветров, с юго-востока – от сырых и холодных морских ветров начала лета. Лишенные леса сопки гораздо хуже держат ветра и не могут стабилизировать водный баланс низин в период муссонных дождей или межсезонной засухи (рис. 25.5).

До недавнего времени – примерно до начала 60-х гг. XX в. – ландшафтная подсистема Владивостока была свободна от застройки и в значительной части сохраняла лесной покров, что позволяло ей выполнять функции по поддержанию водности городских рек. С началом строительства *большого* Владивостока и до настоящего времени водоразделы, особенно в центральной части города, были застроены, а площадь зеленых насаждений в значительной степени сократилась. Исходный растительный силуэт городских ландшафтов, а его в черте города формировали лиственные (15–25 м) и хвойные породы деревьев (та же пихта цельнолистная могла достигать высоты до 35–45 м), значительно отличался от его топографического силуэта [10]. И именно леса по вершинам сопек формировали мягкий микроклимат по берегам его закрытых бухт.

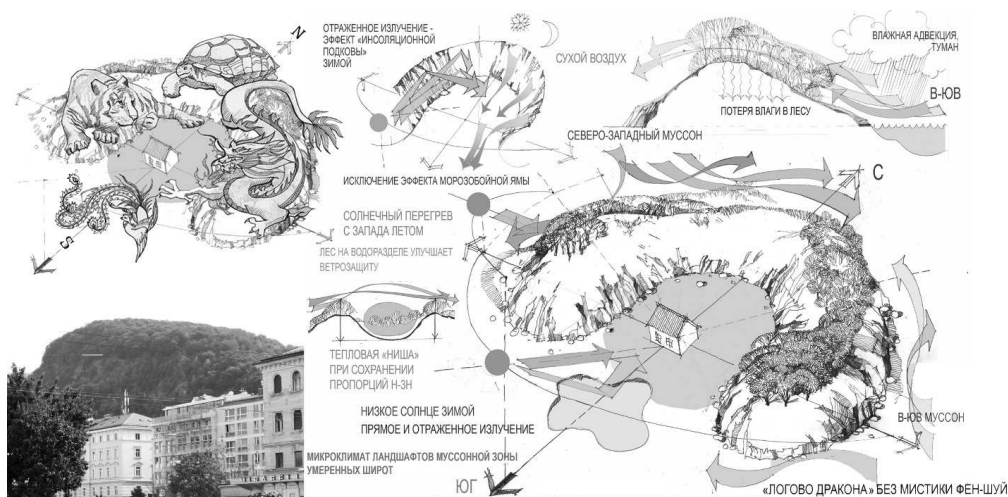


Рис. 25.5. Вершины и водоразделы – «леса фен-шуй». Графика П. Казанцева и Е. Мовчан

Утраченный растительный силуэт городских сопок не являлся вертикальным выносом топографических характеристик; его линия формировалась как результат взаимодействия тех или иных пород древесной растительности с ветром и солнцем, измененными топографией территории. В этом случае высотные характеристики утраченных лесов могут являться естественной границей высотности формируемой в городе новой застройки. Тем более что в этом случае здания и восстановленные зеленые посадки сформируют единую ветрозащитную систему (рис. 25.6).

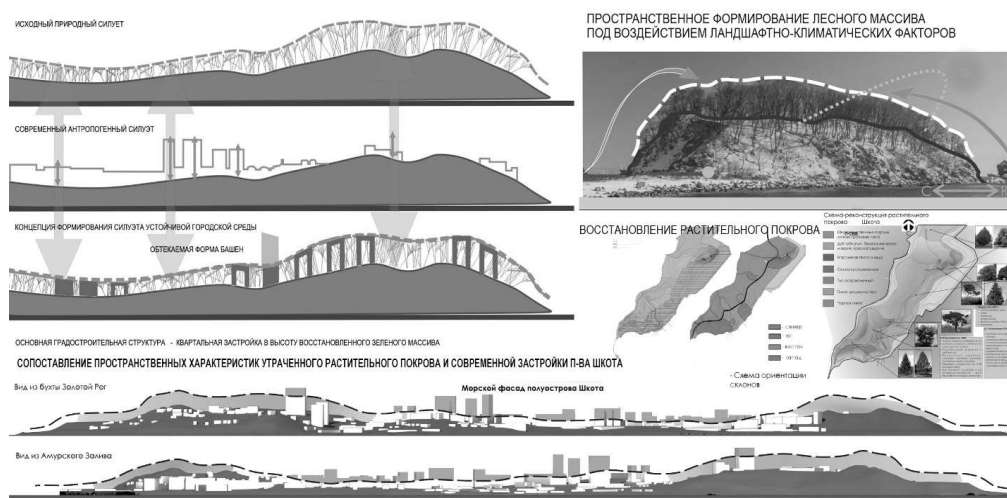


Рис. 25.6. Сопоставление топографического, исходного растительного и современного урбанистического силуэта Владивостока. Графика М. Лобачевой

Городские водотоки

Основой формирования устойчивой городской среды с интегрированными в пространство города природными системами является восстановление гидрологического цикла, близкого к естественному. Антропогенное изменение русла и

поймы рек, их водосборного бассейна является первопричиной деградации природных экосистем в черте города, что снижает устойчивость городской среды к климатическим изменениям, формирует дискомфортный для зеленых систем и человека микроклимат городских пространств.

Основными направлениями восстановления естественного гидрологического цикла в городской среде в части реновации речной системы города сегодня считают:

- приведение планировочной структуры города в целом в соответствие с естественными ландшафтными особенностями его территории по принципу «вернуть воде то, что ей принадлежало». В первую очередь это относится к восстановлению поверхностного водотока заключенных в коллекторы малых рек и ручьев, в том числе за счет фрагментарного замещения городской улично-дорожной сети или введения в пространство сохраняемых улиц направляющих, водопонижающих и адсорбирующих ландшафтов. В узлах улично-дорожной и пешеходной сети в низинах необходимо сформировать сезонные подтапливаемые площади-накопители, используемые в сухой сезон для общественно-рекреационных целей;

- восстановление естественного характера сохранившихся речных русел и приречной территории, в том числе естественного характера конфигурации и переменного профиля речного русла, подтапливаемых пойменных территорий вдоль реки, заболоченных территорий и песчаных отмелей в устье рек. Это может быть и имитация пространственных характеристик естественных ландшафтов антропогенными средствами. В реализованных проектах воссозданная естественная береговая черта речного русла составляет, как правило, около 50 % и более от общей протяженности участка реновации (рис. 25.7).

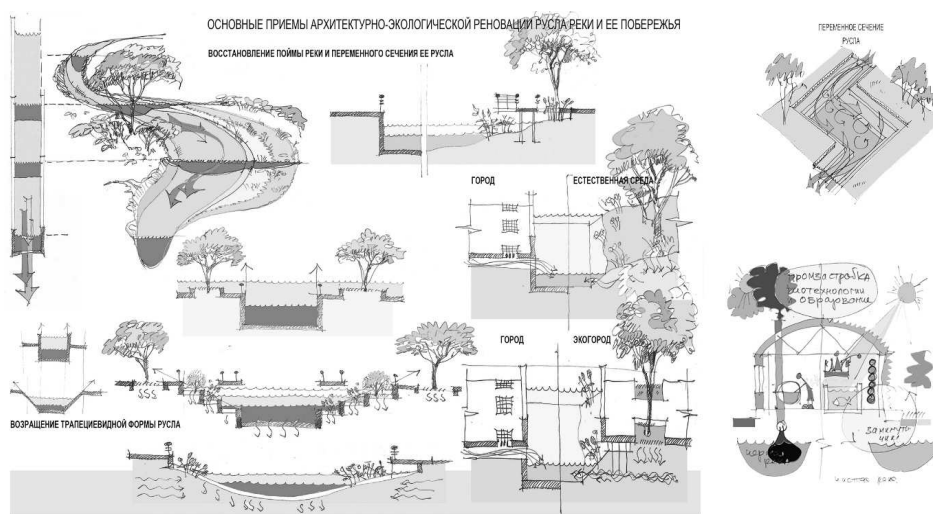


Рис. 25.7. Основные приемы архитектурно-экологической реновации русла реки и приречной территории. Графика П. Казанцева

Водосборная ткань

В естественных условиях почти половина влаги атмосферных осадков впитывается в грунт и в дальнейшем является источником, поддерживающим естественные водотоки вне зависимости от смены погодных условий, а 40 % влаги

постепенно испаряется деревьями и травой, формируя комфортный влажностный режим территории; около 10 % приходится на поверхностный сток. В традиционной высокоплотной городской застройке на инфильтрацию приходится порядка 15–35, 30–55 % на поверхностный сток влаги и около 30 % – на испарение. Поверхностный сток в городской среде возрастает до 5 раз, а инфильтрация снижается почти в 3 раза [11]. Антропогенное изменение естественного гидрологического цикла водосборной ткани является первопричиной деградации природных экосистем в черте города, снижает устойчивость городской среды к климатическим и погодным изменениям (чередование подтопления значительной части городских территорий и полного иссушения сохранившихся городских речных систем), формирует дискомфортный для зеленых систем и человека микроклимат городских пространств (рис. 25.8).

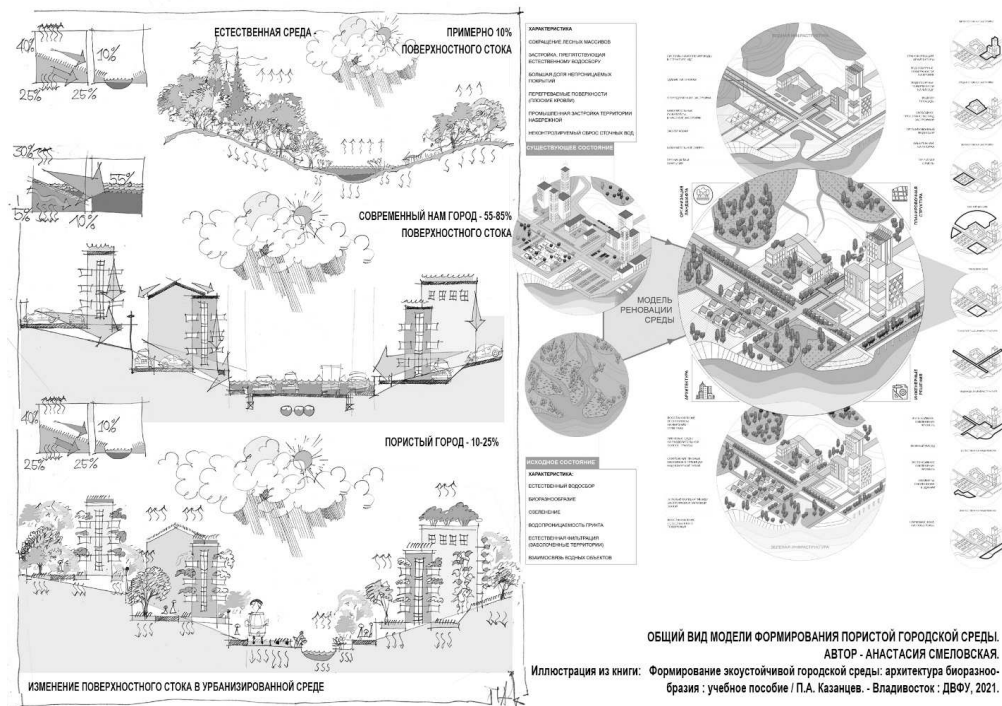


Рис. 25.8. Характеристики водосборной ткани естественной среды, современного города и «пористого» города. Модель формирования пористой городской среды.

Графика П. Казанцева и А. Смеловской

Практика восстановления естественного гидрологического цикла показала, что территорию города надо рассматривать как единое целое, где именно характеристики водосборной ткани (застройки) определяют степень деградации его речной системы. Так, в рамках концепций *sponge city* («города-губки») приемы восстановления «пористости» городской среды разрабатываются не только в границах водоохранных зон, но и на всей территории – для открытых пространств и городской застройки, включая увеличение «пористости, ажурности» кровель и фасадов зданий (разнообразные фасадные системы, воссоздающие взаимодействие растительных систем с косыми дождями, туманами и конденса-

том). При этом за базовую модель взаимодействия атмосферной влаги и застройки на юге Дальнего Востока следует принимать модель, восстанавливающую естественную ярусную структуру лесов умеренного пояса, которая во многом идентична ярусной структуре современной городской застройки (рис. 25.9).

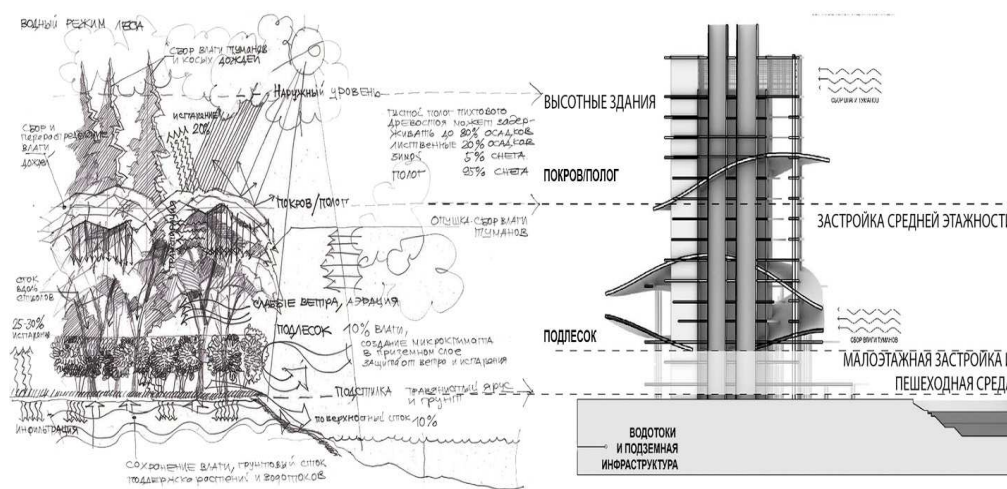


Рис. 25.9. Сопоставление ярусной структуры лесов умеренного климатического пояса и ярусов современной городской застройки. Графика П. Казанцева и А. Смеловской

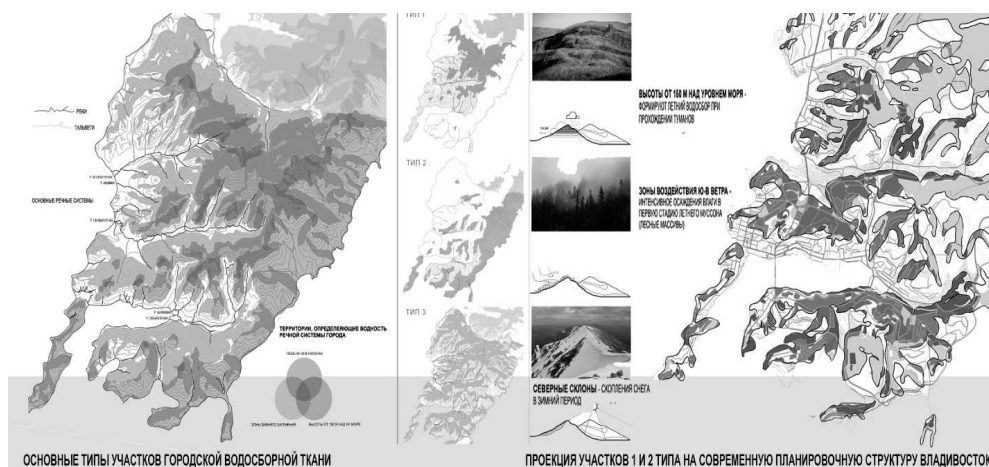


Рис. 25.10. Зонирование водосборной ткани городской территории (Владивосток).

Графика А. Смеловской

В условиях мелкосопочного рельефа основная часть городской водосборной ткани должна быть дифференцирована по признаку сезонного влияния векторных климатических факторов – ветра и солнечной радиации – на режим осадков и увлажнения поверхности со сложным рельефом. Так, водосборная ткань Владивостока в ее естественном состоянии до середины XIX в. была представлена участками трех типов: поросшими лесом склонами, открытыми юго-восточным влажным муссонным ветрам, а также склонами с отметкой более 150 м (терри-

тории города, активно собиравшие и накапливавшие влагу туманов в весенний период в мае – июне и влагу косых дождей на протяжении всего теплого сезона); склонами северной ориентации и затененными участками рельефа, закрытыми от интенсивной зимней инсоляции (территории города, сохранявшие снежный покров до наступления положительных температур и влиявшие на поддержание водности рек в марте –апреле до наступления периода туманов); нейтральными по отношению к воздействию векторных климатических факторов на режим осадков и увлажнение поверхности земли территориями (рис. 25.10).

Каждый из названных типов участков, освоенных сегодня под застройку, потребует разработки специфических приемов восстановления естественного гидрологического цикла. Восстанавливая водосборную ткань городской территории, необходимо предложить следующее:

1. Для участков первого типа рекомендуется сохранение существующих зеленых массивов и их восстановление на незастроенной территории (во Владивостоке такие территории пока еще занимают до 60 % от площади участков первого типа); для уже освоенных застройкой территорий – повышение удельной площади пористых поверхностей на придомовых территориях и уличных террасах (использование технологии «экопарковка», устройство зеленых кровель и вертикальных зеленых экранов); в новом строительстве – интеграцию в архитектуру зданий естественных и искусственных систем сбора, хранения и распределения влаги туманов, ночного конденсата и косых дождей.

2. Для участков второго типа в сложившейся застройке следует формировать ландшафты – накопители снежного покрова, например, террасируя и озеленяя откосы северной ориентации в ленточной застройке. Часто с северной, наветренной, стороны ленточных зданий формируются территории с резким ветровым дискомфортом, лишённые инсоляции зимой; их также следует отводить для формирования снегозадерживающих ветрозащитных ландшафтов. В условиях нового строительства помимо формирования ландшафтов – накопителей снежного покрова необходимо регулировать отложения снега перераспределением ветровых потоков на уровне объемно-планировочного решения отдельных зданий и их групп с целью задержания максимально возможного количества снега.

3. Для участков третьего типа (нейтральных, с наименьшей региональной спецификой) рекомендуется использование приемов, уже разработанных и применяемых в современной градостроительной практике [12].

Литоральная зона

Как уже было отмечено, восстановление в урбанизированной среде утраченных в процессе градостроительного освоения территории исходных экосистем обусловлено формированием дружественных к этим экосистемам пространственных ячеек. Не являясь исключением, архитектурно-экологическая реновация городского побережья также преследует цель формирования пространственных ситуаций, способствующих восстановлению или увеличению биоразнообразия экосистем литоральной зоны. Новизна современных градостроительных методов экологической реновации побережья приморских городов, в сравнении с традиционными озеленением и пешеходизацией набережных, состоит в восстановлении связанности зон обитания прибрежной экосистемы через восстановление или имитацию утраченных природных ландшафтов [13].

При этом подводные и сухопутные прибрежные ландшафты литоральной зоны в процессе архитектурно-экологической реновации обязательно рассматриваются как единая система.

Можно выделить следующие основные направления архитектурно-экологической реновации урбанизированных прибрежных территорий:

- компенсацию утраченных природных ландшафтов побережья и литоральной зоны архитектурно-градостроительными средствами, с полным или частичным использованием сложившейся застройки и инфраструктуры территории. К этому направлению можно отнести приемы воспроизведения утраченных природных ландшафтов в архитектуре реконструируемых или проектируемых зданий и открытых пространств прибрежной городской территории и в архитектуре реконструируемых гидротехнических сооружений;

- восстановление утраченных природных ландшафтов с полным преобразованием урбанизированной прибрежной территории и литоральной зоны. Сюда можно отнести разнообразные приемы ландшафтного преобразования прибрежных территорий и литоральной зоны, с полной сменой функций и архитектуры береговой черты с целью наиболее полного восстановления утраченных исходных морских и береговых экосистем;

- введение новых ландшафтных форм в урбанизированную прибрежную среду с целью повышения биоразнообразия территории. Сюда можно отнести приемы воспроизведения природных ландшафтных форм, не характерных для подлежащего реновации побережья, или создание искусственных ландшафтных форм (таких как плавающие острова, искусственные рифы, парящие над водой структуры и др.) (рис. 25.11).

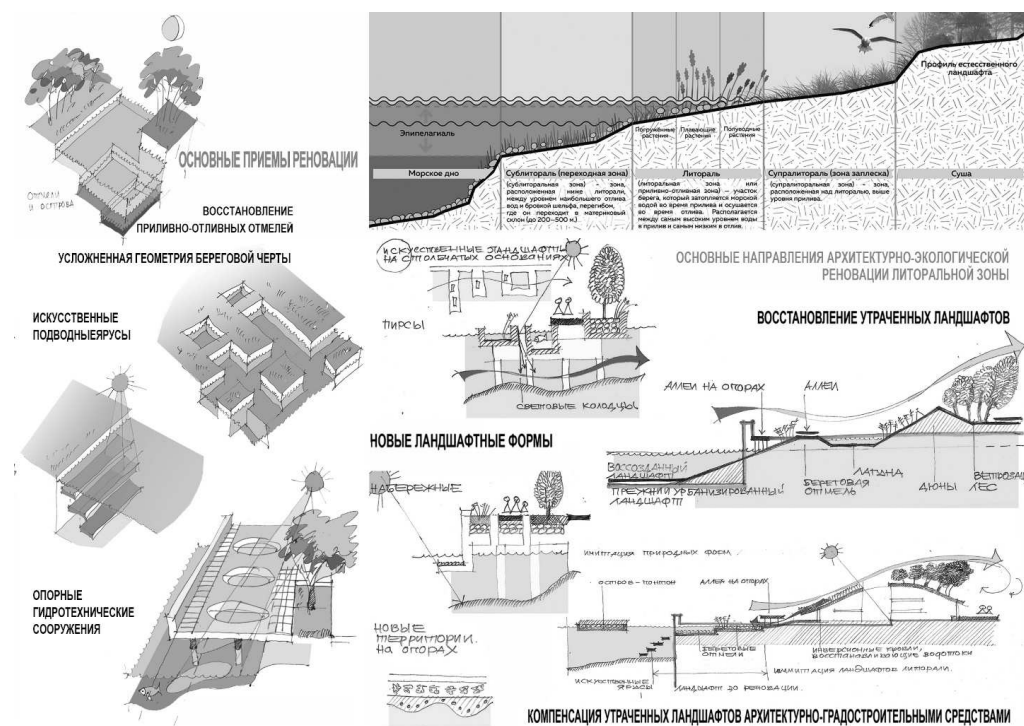


Рис. 25.11. Архитектурно-экологическая реновация литоральной зоны урбанизированных территорий. Графика П. Казанцева и А. Сергиной

К настоящему времени проекты комплексной архитектурно-экологической реновации прибрежных территорий уже реализованы во многих городах мира. При характерной региональной специфике способов и приемов архитектурно-экологической реновации побережья, связанной с ландшафтными и климатическими особенностями территории, общим для них является формирование пространств, обеспечивающих восстановление экосистем береговой черты и прилегающей акватории. Так, при реконструкции набережной Сиэтла на части территории восстановлены мелководья, а создание ступеней, примыкающих к вертикальным причальным стенам, позволило восстановить утраченные ярусы, характерные для литоральной зоны. Искусственные ступени литоральной зоны центра в Ванкувере дополнены на берегу зелеными холмами – кровлями общественных зданий и парковок. Тем самым была восстановлена связь наземных растений и мелководий бухты, как это и было до основания города. При реконструкции набережной в Бруклине в парке восстановлена прибрежная лагуна, обеспечивающая фильтрацию дождевых стоков, а в Копенгагене из-за дефицита береговой территории предложены плавающие зеленые острова, имитирующие утраченную растительность береговой черты [14].

Биоклиматический подход к формированию зеленых систем

Озеленение городской территории древесной растительностью, кустарниками и травами и включение зеленых систем в архитектуру зданий в высокоплотной застройке сегодня являются основными способами формирования экологически устойчивой городской среды. Зеленые системы, интегрированные в архитектуру, защищают от перегрева в летнее время и снижают температурный фон прилегающей территории, снижают уровень тепловых потерь зимой, защищают от косых дождей и туманов, собирают, перераспределяют и хранят влагу атмосферных осадков. В свою очередь само здание при размещении зеленых систем должно рассматриваться как элемент ландшафта, формирующий ветровой и инсоляционный микроклимат территории, что накладывает ограничения на возможности размещения и подбор растительного материала зеленых систем или на само архитектурное решение зданий (рис. 25.12). В той или иной степени указанные особенности надо учитывать и при формировании внутреннего озеленения, в зависимости от раскрытия интерьеров на окружающую среду, или предлагать формирование внутренней зеленой структуры здания в зависимости от его раскрытия по кругу горизонта [15].

В высокоплотной городской застройке размещение традиционных зеленых систем не всегда способно дать ожидаемый эффект. Это приводит в том числе к ограничению способности урбанизированной среды утилизировать углекислый газ и смог из городского воздуха. Одним из вариантов решения проблемы может быть использование биотехнологий, в частности размещение культур микроводорослей в структуре зданий и на прилегающей территории. Эффективность таких зеленых систем на основе фотобиореакторов – специальных конструкций различных типов, позволяющих культивировать в них микроводоросли, по отдельным показателям в 4 раза превышает эффективность традиционных систем озеленения. Водоросли являются самым быстрорастущим органическим материалом на планете – они растут в десять раз быстрее, чем деревья, причем более эффективные виды удваивают свой объем каждые шесть часов.

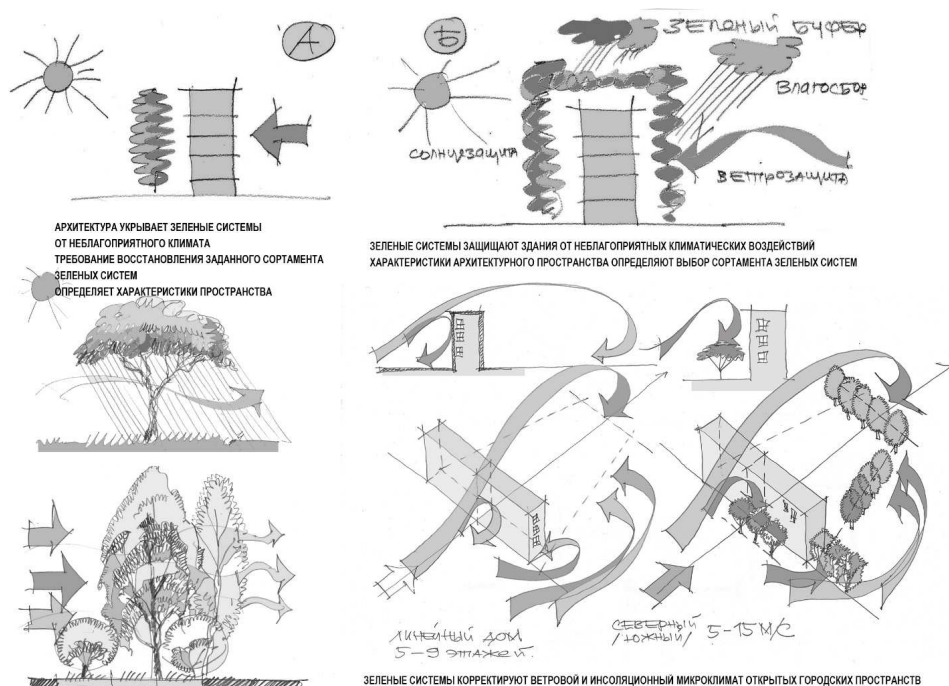


Рис. 25.12. Растительные системы, определяющие характеристики пространства (А), учитывающие исходные пространственные характеристики застройки (Б) или формирующие новые пространства с заданными характеристиками климатических факторов. Графика П. Казанцева

При проектировании зеленых систем на основе фотобиореакторов также следует учитывать характерные для муссонного климата параметры: ветровое выхолаживание поверхностей северо-западной ориентации зимой и поверхностей юго-восточной ориентации в первой половине лета; высокую суточную и сезонную амплитуду колебаний температуры поверхностей, открытых ветровому и инсоляционному воздействию. Необходимо также обеспечить максимальное использование рассеянной и отраженной солнечной радиации (северо-восточный, северный и северо-западный фасады); защиту от перегрева с западного и юго-западного секторов горизонта (низкое солнце) системами двойного фасада или использованием поворотных систем фотобиореакторов; защиту от перегрева с южного направления (высокое солнце), включая затенение за счет трансформации самого объема здания [16].

Использование внешней оболочки на основе систем поворотных фотобиореакторов как регулятора теплового и светового микроклимата здания в южном Приморье возможно для южного фасада зимой и фасадов юго-западной и западной ориентации летом. Предложенные варианты актуальны при формировании фасадов городских улиц и открытых пешеходных пространств, а также при сочетании систем фотобиореакторов с фонарями верхнего света пассажей и атриумов (рис. 25.12).

Рассматриваемое направление формирования интегрированных в городское пространство систем фотобиореакторов, определяемое как «algaetecture», – сравнительно новое явление в мировой архитектуре, и устоявшегося русскоязычного термина, фиксирующего данное направление научных исследований и архитектурно-градостроительного проектирования, еще нет.

4. IBA Vienna – New Social Housing. – URL: <https://www.iba-wien.at/en/>
5. Шилов, И.А. Экология / И.А. Шилов. – Москва: Высшая школа, 1997. – С. 374.
6. van Stiphout, M. First Guide to Nature Inclusive Design / Maïke van Stiphout. – nextcity.nl, 2020. – 158 p.
7. Казанцев, П.А. Формирование экоустойчивой городской среды: архитектура биоразнообразия / П.А. Казанцев. – Владивосток: ДВФУ, 2021. – 268 с.
8. Планировка и застройка городских и сельских поселений (ТСН ПЗП-99 МО, ТСН 30-303-2000 МО). – Минмособлстрой, 1999. – С. 137.
9. Coggins, C. Fengshui forests as a socio-natural reservoir in the face of climate change and environmental transformation / C. Coggins, J. Minor // Asia Pacific Perspectives. – Vol. 152. – P. 4–29.
10. Урусов, В.М. Владивосток – юг Приморья: вековая и современная динамика растительности / В.М. Урусов, Л.И. Варченко, Д.Л. Врищ. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 420 с.
11. Zevenbergen, C. Sponge Cities: Emerging Approaches, Challenges and Opportunities / C. Zevenbergen, D. Fu, A. Pathirana (Eds.). – MDPI Book, 2018. – 462 p.
12. Казанцев, П.А. Особенности формирования устойчивой городской среды в условиях реновации водной системы Владивостока / П.А. Казанцев, Я.В. Марус, А.М. Смеловская // Урбанистика. – 2019. – № 1. – С. 18–32.
13. Waterfront Seattle Program. – Seattle. – URL: <https://waterfrontseattle.org>
14. Казанцев, П.А. Береговая линия Владивостока как объект архитектурно-экологической реновации / П.А. Казанцев, А.М. Смеловская, В.Е. Кутенков // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2020. – № 4 (45). – С. 154–167.
15. Шиян, А.Ю. Особенности формирования систем озеленения общественных зданий с учетом влияния природно-климатических факторов / А.Ю. Шиян, П.А. Казанцев // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2017 (2). – С. 354–359.
16. Казанцев, П.А. Особенности формирования устойчивой архитектурной среды с использованием зеленых систем на основе фотобиореакторов / П.А. Казанцев, М.А. Лобачева // Урбанистика. – 2021. – № 1. – С. 109–126.

Информация об авторе

Казанцев Павел Анатольевич, архитектор, канд. арх. наук, профессор, профессор департамента архитектуры и дизайна Политехнического института, Дальневосточный федеральный университет. E-mail: pal-antvlad@yandex.ru

Section III. SCIENTIFIC DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT

Chapter 25. ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING METHOD OF RESTORATION OF BIODIVERSITY IN THE URBAN ENVIRONMENT

Pavel A. Kazantsev¹

Abstract. *The architectural and town-planning aspect of the restoration of the biodiversity of anthropogenic landscapes is considered. It is shown that in the context of the transition to sustainable development, the urban environment, among other things, should be considered as a purposefully formed spatial system, the characteristics of which are favorable for the restoration of natural biodiversity. Urban topography as a purposefully formed system of open spaces, buildings and their surfaces is one of the leading abiotic factors in the restoration of biodiversity lost in an urbanized environment. In this context, the model of the natural frame of the city is specified, the concept of urban water collecting surface is introduced, and techniques are proposed for the architectural and environmental renovation of the urban area.*

Keywords: *ecological urbanism; landscape urbanism; sustainable architecture; nature inclusive design; biotope city.*

Information about authors

Pavel A. Kazantsev, architect, Ph.D., Professor, Professor of Department of Architecture and Design, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Vladivostok. E-mail: pal-antvld@yandex.ru

¹ Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Раздел IV. РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОСВЕЩЕНИЯ

Глава 26. ОПЫТ НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА МЕЖДУНАРОДНОГО ИНСТИТУТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТУРИЗМА (ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ) С АКАДЕМИЧЕСКИМИ ИНСТИТУТАМИ ДВО РАН В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ

Г.А. Гомилевская¹, Т.С. Вшивкова^{1,2,3}

DOI: <https://doi.org/10.24886/0685-5-313-326>

Аннотация. Рассматриваются вопросы интеграции экологического образования в современном вузе на примере Международного института окружающей среды и туризма Владивостокского государственного университета (МИОСТ ВВГУ). Экология как мировоззренческая наука является основой для воспитания нового поколения молодежи, и вузы должны включаться в процесс такого воспитания на самых ранних этапах. Особенное внимание должно уделяться объединению эколого-образовательной деятельности вузов с академической и отраслевой наукой, развитию практико-интегрированной системы обучения.

Ключевые слова: экологическое образование; научное сотрудничество; интеграция.

В современном обществе образование и наука играют особую роль, становятся ключевым стратегическим ресурсом во всех сферах жизни, являются фактором национальной безопасности, связываются с глобальными, планетарными изменениями в современном мире, с надеждами на изменение менталитета общества. Образование и наука способствуют повышению производительности труда, устанавливают стандарты конкурентоспособности и готовности к внедрению инноваций в разных областях нашей жизни. Образование и наука позволяют решить множество различных проблем, перед которыми сейчас стоит человечество: военные, экологические (природные и техногенные), демографические, сырьевые, энергетические, продовольственные и др. При этом в России

¹ Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41.

² Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1.

³ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

наблюдается заметное снижение интереса молодежи к науке, «уход» молодых специалистов из вузовского, академического и отраслевого секторов науки, что создает реальную угрозу утраты преемственности между поколениями российских ученых, снижает эффективность исследовательской и инновационной деятельности, ведет к распаду кадрового потенциала науки.

Современные интеграционные процессы в академической и вузовской науке

Осознание проблемы активизации интеграционных процессов в образовательном процессе явилось причиной инициации правительством РФ национальных проектов «Наука» и «Образование» в 2018 г., которые содействовали объединению науки и высшего образования на новом уровне. Экологический аспект перезагрузки образования нашел отражение в национальном проекте «Экология». В рамках этих проектов были предложены меры, направленные на обеспечение роста качества образования и исследований в вузах, на повышение престижа научного статуса. Для содействия процессу в рамках нацпроектов было предложено создавать совместные кафедры и лаборатории, развивать сетевое взаимодействие научных и образовательных институтов, включая центры коллективного пользования, научные установки, базы данных. Большое внимание рекомендовалось уделять более раннему вовлечению учащейся молодежи в научно-исследовательскую и проектную деятельность. Значительно усилилось государственное финансирование академических институтов и вузов [1]. Особое внимание было обращено на эколого-образовательную и туристско-краеведческую деятельность в регионах с привлечением общественного потенциала [2].

Университетская и академическая науки имеют свои особенности и преимущества. Российская академия наук обладает значительным научным потенциалом, в то время как вузы имеют возможность привлекать в науку заинтересованную и способную молодежь. При интеграции академической и вузовской науки появляется возможность получения синергетического эффекта. Закладывая в 1724 г. Академию наук России, Петр Первый с самого начала имел в виду триаду: школьное образование (гимназия) – университет – Академия наук [3]. Этот пример следует иметь в виду, чтобы развивать потенциал подрастающих поколений, обучающихся в младшей и средней школе. Наполнение университетов талантливой молодежью напрямую зависит от специально подготовленных учеников, их раннего привлечения к научно-исследовательской работе, к участию в проектах на базе академических институтов, вузов, специальных образовательных центров. В перспективе необходимо формировать единую цепь: образование (младшая и средняя школы) – наука-производство – власть – потребители. Ориентирами интеграции академического, вузовского и отраслевого секторов науки должны стать продвинутые ее формы: совместные научно-учебные, учебно-технологические центры, исследовательские университеты или кафедры. Особую значимость приобретают действия, активизирующие учащуюся молодежь, способствующие развитию любознательности, увлечению наукой, раннему овладению профессиональными навыками, повышению чувства ответственности за происходящее, за сохранение окружающего мира. Взаимодействие научных учреждений с системой высшего образования, таким образом, может рассматриваться как важнейший канал для реализации их интеллектуального, культурного и нравственного потенциалов. Итогом интеграционных процессов должен стать университет, свободный от действия центробежных сил распада

на узкие специальности. Он должен стать центром комплексной подготовки и исследований, отвечающим современным вызовам, новому социальному закону и традициям нашей страны в области науки и управления [1]. Синергия образовательной, исследовательской и инновационной деятельности может быть достигнута в рамках как одного университета, так и путем его сетевого взаимодействия с другими российскими и международными университетами, научными организациями, предприятиями. Развитие международных контактов может основываться как на прямом обмене студентами и преподавателями между ключевыми университетами, так и путем участия в совместных программах и проектах, конференциях и симпозиумах (при очном, заочном участии или онлайн). Для развития межведомственного сотрудничества в области охраны окружающей среды на базе вузов и научных институтов должны создаваться специализированные эколого-биологические центры, в которых должны быть условия для обучения молодежи и широких кругов населения методам оценки качества природных сфер: воды, воздуха, почв и включенных компонентов [4–6]. В Приморском крае такие центры имеются и эффективно работают как с молодежью, так и с другими возрастными группам – людьми, заинтересованными в сохранении уникальной приморской природы: НОКЦ «Живая вода», Эколого-биологический центр ВДЦ «Океан», Малая академия морской биологии, Экоцентр Приморского океанариума и другие.

Постоянное творческое взаимодействие вузов с представителями академической и отраслевой науки может осуществляться по нескольким важным направлениям: 1) формирование и реализация государственной политики в сфере образования (участие в разработке базовых стратегий, развитии и корректировке образовательных стандартов и программ, создание инновационных учебных курсов при подготовке специалистов, востребованных регионом, решение проблем повышения качества образования путем привлечения к преподаванию известных ученых, высококвалифицированных специалистов из академической среды и ведомственных структур); 2) подготовка и переподготовка преподавательского состава, нацеленного на восприятие новых идей и разработок, предоставляемых академической наукой; 3) совместная подготовка монографий, учебников, методических пособий на основе последних достижений российской и мировой науки; 4) совместная организация образовательного процесса, расширение практики «приглашенных лекторов» для разовых лекций и новых учебных курсов; 5) организация совместных конференций, симпозиумов, молодежных конкурсов, научно-методических практикумов для высшей и общеобразовательной школ; 6) создание базовых кафедр, совместных лабораторий и научно-образовательных центров по общим и конкретным направлениям фундаментальной науки; 7) активизация участия ученых, вузовских преподавателей и студентов в тематических образовательных сменах детских центров (типа Всероссийский детский центр «Океан») или летних лагерей; 8) расширение участия вузов и академической науки в процессе дошкольного образования, особенно в эколого-образовательном процессе (чрезвычайно актуальном в наше время), посредством привлечения ученых и студентов в соответственно адаптированные программы и проекты на базе детских садов или при организации «семейных образовательных форумов».

Опыт интеграционного взаимодействия МИОСТ ВВГУ

Опытом многосторонней интеграции – университетской, академической и отраслевой науки могут поделиться дальневосточные университеты, в том числе Владивостокский государственный университет (Международный институт окружаю-

щей среды и туризма) (далее – МИОСТ ВВГУ). На основе опыта МИОСТ ВВГУ авторы постарались проанализировать эффективность системы интеграционного образования в сфере экологии, оценить значимость реализованных проектов и программ и предложить новые стратегии, направленные на повышение качества экологического образования на основе сотрудничества вузовской, академической и отраслевой науки, в кооперации с общественными экологическими организациями.

Международный институт окружающей среды и туризма Владивостокского государственного университета имеет двадцатилетнюю историю осуществления образовательных программ по подготовке студентов по специальности «Экология» и направлению подготовки бакалавров и магистров «Экология и природопользование». Специфика подготовки экологов кафедры определяется требованиями работодателей. Для успешного трудоустройства студентов кафедра ориентирует будущих бакалавров и магистров на различные направления теоретической и прикладной экологии: экологический мониторинг окружающей среды, производственный экологический контроль на предприятии, экологическая экспертиза и аудит, экологический менеджмент и охрана окружающей среды, экологический туризм, кадастры природных ресурсов; активно вовлекает студентов в научно-исследовательскую, эколого-просветительскую и природоохранную деятельность.

С 2013 г. в ВВГУ реализуется практико-интегрированная система обучения (ПИО) для студентов, которая уже показала свою эффективность. Работа в реальных условиях на производстве или в научно-исследовательском институте, предполагаемых местах будущего трудоустройства, позволяет студентам получать необходимые практические навыки, начиная с ранних этапов университетского обучения. ПИО предъявляет повышенные требования к качеству подготовки студента, а также требует от кафедр университета развивать многосторонние и прочные связи с институтами ДВО РАН, предприятиями-партнерами, где студенты получают реальные навыки профессиональной деятельности. Разноплановая подготовка студентов-экологов во ВВГУ, широкая база такой подготовки на базе академической и отраслевой науки позволяют выпускать востребованных специалистов для различных сфер производства и науки. Много лет партнерами МИОСТ являются крупные предприятия края, научно-исследовательские организации, академические институты ДВО РАН, органы государственной власти, ООПТ Приморского и Хабаровского краев, Амурской области. В последнее время МИОСТ усилил тенденцию интеграции с академической наукой. Одним из эффективных инструментов реализации практико-интегрированного обучения является создание в университете базовых кафедр и совместных лабораторий по различным направлениям подготовки [4, 7–10].

Совместно с партнерами – академическими институтами ДВО РАН на площадке МИОСТ ВВГУ было осуществлено создание базовой кафедры экологии и экологических проблем химической технологии (руководитель С.Б. Ярусова, канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник Института химии ДВО РАН) и совместной лаборатории экологического мониторинга (руководитель Т.С. Вшивкова, Ph.D., ст. науч. сотрудник ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), организована площадка для прохождения студентами практики в стенах Тихоокеанского института биорганической химии ДВО РАН (под руководством К.А. Дроздова, ТИБОХ ДВО РАН), ТИНРО и других научных институтов.

Базовая кафедра экологии и экологических проблем химической технологии ВВГУ (БК ЭЭПХТ). Кафедра создана в 2018 г. совместно с Институтом химии ДВО РАН (ИХ ДВО РАН). В ходе обучения на кафедре студенты приобретают

навыки проведения экспериментов, работы на современном научном оборудовании, анализа и обработки научных результатов. В процессе обучения студенты имеют возможность практически постоянно обсуждать полученные экспериментальные результаты и получать подробные консультации у ведущих ученых – докторов и кандидатов наук. В результате такой подготовки выпускник подготовлен к обучению в аспирантуре, написанию научных статей и диссертационной работы, а также к трудоустройству на предприятия соответствующего профиля. По результатам проведенных на базовой кафедре исследований успешно защищены бакалаврские работы и магистерские диссертации. С привлечением студентов бакалавриата проводятся работы по ряду договоров на выполнение научно-исследовательских работ, внутренним грантам университета. Базовая кафедра экологии и экологических проблем химической технологии уже зарекомендовала себя как эффективная научная площадка, выполняющая образовательные цели, но также продемонстрировавшая и замечательные примеры вовлечения студентов в реальные научные проекты, научила студентов «своими руками и головой» совершать научные открытия. Студенты бакалавриата и магистратуры, обучающиеся на базовой кафедре, ежегодно имеют целый ряд различных научных достижений, например победы в стипендиальных конкурсах, призовые места на научных конференциях различного уровня, победы в научных конкурсах («Гранит науки», «Молодой ученый» (конкурсы ВВГУ), Международный конкурс исследовательских работ учащихся и студентов «АВРОРА», Открытый межвузовский конкурс на лучшую выпускную квалификационную работу бакалавров/магистрантов, Ярмарка научных идей молодых ученых и др.). В результате исследований, проводимых на кафедре с участием студентов, опубликованы научные статьи, индексируемые в зарубежных базах данных Web of Science и Scopus [9, 11, 12].

Совместная Лаборатория экологического мониторинга МИОСТ и ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Лаборатория получила официальный статус недавно, в 2022 г., но сотрудничество между организациями осуществлялось более 15 лет на основе программы «Приглашенный спикер», что принесло свои плодотворные результаты. В рамках практико-интегрированного обучения студентов-экологов ВВГУ при участии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН проводились лекции по биомониторингу пресноводных экосистем, охране окружающей среды, соответствующие практикумы и мастер-классы. Приглашенным докладчиком-спикером в МИОСТ много лет являлась Т.С. Вшивкова, старший научный сотрудник лаборатории пресноводной гидробиологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Для обучения студентов основам экологии пресных вод в 2010 г. ею был подготовлен курс лекций «Экологический мониторинг пресных вод», на основе которого было подготовлено учебное пособие «Введение в пресноводный биомониторинг», получившее высокое признание экспертов, преподавателей и студентов, а также экологических активистов, учителей и школьников, работающих в области изучения и охраны пресных вод [13]. Под руководством Т.С. Вшивковой защищено более 10 бакалаврских и магистерских квалификационных работ, написан ряд статей, в которых соавторами стали не только представители профессуры, но и студенты МИОСТ [14–21] и др.

Студенты МИОСТ выполняют также многочисленные проекты по заказу государственных организаций: министерств Правительства Приморского края, управлений Росприроднадзора, Роспотребнадзора, Примгидромета, Приморрыбвода, различных производственных предприятий, а также по заказу общественных экологических организаций, таких как ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ», Всемирный фонд

дикой природы, WWF и др. В результате тесного межведомственного сотрудничества студенты и преподаватели МИОСТ принимают активное участие в реализации большого числа проектов различных общественных и государственных организаций: Научно-образовательного экологического центра и Международного центра экологического мониторинга ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, «Школы общественного экологического инспектора» (при Управлении Росприроднадзора и ОНФ России), программах Всемирного фонда дикой природы (WWF), ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ» и других экологических и природоохранных институтов.

В 2018 г. при поддержке Фонда президентских грантов совместными усилиями ДВМЭОО «ЗЕЛЕНый КРЕСТ», НОКЦ «Живая вода», Международного центра экологического мониторинга ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН и МИОСТ ВВГУ был открыт Научно-общественный институт «Академия Экологии» (НОИ АЭ), целью которого является подготовка общественных экспертов в области мониторинга и контроля окружающей среды [22]. Аудитория АЭ – студенты экологических направлений вузов Приморского края, учителя и старшеклассники, экологические волонтеры. Преподаватели АЭ – ученые и специалисты ДВО РАН, университетов Приморского края. Кроме базового обучения, АЭ проводит выездные обучающие сессии в районах Приморского края («академические десанты»). В рамках таких сессий совместно с местными эоактивистами проводятся исследования экологических проблем целевых территорий, оценка нарушений окружающей среды, аналитические семинары и мастер-классы, разрабатываются стратегии взаимодействия с местными представителями власти, бизнес-структурами, СМИ и общественностью. В результате сотрудничества МИОСТ с академическими институтами и общественно-научными центрами, студенты с первых курсов занимаются проектной деятельностью, выполняют выпускные квалификационные работы бакалавров и магистров, получают знания и навыки по различным направлениям практической экологии, специализируются в области экологической химии, почвоведения, пресноводной экологии, принимают участие в научных проектах и конференциях, становятся авторами научных работ. В рамках текущих проектов («Исследования экологического состояния водотоков и водоемов полуострова Муравьева-Амурского», «Ревитализация р. Вторая Речка», «Оценка качества вод руч. Безымянный, расположенного вблизи ТБО г. Владивостока в районе бух. Горнотай») уже опубликован ряд научных статей, в которых студенты являются авторами или соавторами; в процессе подготовки – работы по проекту «Изучение состава и структуры пресноводных донных сообществ на территориях ООПТ Дальнего Востока России» и др.

В результате подтверждено, что проектная деятельность и привлечение студентов к научно-исследовательской работе, особенно на ранних этапах обучения, играют особую роль в повышении их мотивации к обучению и получению профессиональных навыков, способствуют выработке самостоятельных исследовательских умений, возможности проявить индивидуальность, развитию творческих способностей и логического мышления, реализации полученных в ходе учебного процесса знаний на практике. Проектная деятельность способствует формированию здоровой конкуренции в студенческой среде, а также формирует, развивает и укрепляет мягкие навыки (soft skills). Успешная научная и проектная работа закладывает основу для становления молодого ученого и позволяет на этапе вузовского обучения сформировать портфолио, открывающее перспективы успешного участия в конкурсах научных проектов. В этом процессе участие научных организаций в подготовке студентов играет определяющую роль [2, 12].

Студенты имеют возможности поделиться результатами своих исследований и научных проектов на региональных, федеральных и международных экологических конференциях и симпозиумах. Особой популярностью среди молодежи пользуется Международная молодежная экологическая конференция «Человек и биосфера» [23]. Следует отметить, что подготовка научных публикаций выдвигает требования освоения современных программных инструментов, позволяющих структурировать данные, работать с библиотеками данных, что дает студенту дополнительные навыки в процессе оформления публикаций МИОСТ.

Студенты и преподаватели совместно с коллегами из партнерских академических институтов принимают участие в мероприятиях, касающихся профориентации (научно-практические конференции, научно-популярные лекции в школах, проведение экскурсий в институты ДВО РАН), участвуют в роли экспертов в школьных олимпиадах и конкурсах, во Всероссийском фестивале науки НАУКА 0+, в «Дне открытых дверей» – в институтах ДВО РАН и ВВГУ, входят в оргкомитеты престижных экологических форумов, таких как Международный форум «Природа без границ», Международная молодежная экологическая конференция «Человек и биосфера», научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии Дальнего Востока», научно-практический семинар «Экологический мониторинг окружающей среды» (для учителей общеобразовательных школ). Школьники, студенты, учителя, экологические активисты становятся участниками научных проектов, соавторами научных статей, публикуются в научных российских и зарубежных изданиях, участвуют в научных (в том числе международных) конференциях [4, 14, 21, 24, 25] и др.

Весной 2022 г. (29 марта – 1 апреля) студенты вместе с преподавателями приняли участие в организации и проведении Международного экологического форума «Сохранение биоразнообразия в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 50 лет Программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера (МАБ)», который прошел на базе ВВГУ (площадка «Точка кипения»). Форум привлек большое внимание специалистов и экологических активистов из дальневосточного региона, а также из других областей России и зарубежья, и стал ярким событием среди экологических мероприятий года [26].

В результате участия в таких мероприятиях выпускники ВВГУ становятся более подготовленными к обучению в аспирантуре, написанию научных статей и диссертационных работ, к трудоустройству на предприятия соответствующего профиля. К настоящему времени многие выпускники МИОСТ официально трудоустроены в институтах ДВО РАН, природоохранных организациях края, на государственных и частных предприятиях.

Эколого-образовательная структура МИОСТ

К настоящему времени межведомственная интеграционная система МИОСТ в области экологического образования включает такие структуры, как:

1. Кафедра экологии, биологии и географии.
2. Базовая кафедра экологии и экологических проблем химической технологии (совместная с Институтом химии ДВО РАН).
3. Лаборатория экологического мониторинга (совместная с ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).
4. Научно-практические площадки для прохождения студенческой практики на базе институтов ДВО РАН: а) ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН; б) Институт химии ДВО РАН; в) ТИБОХ ДВО РАН; г) ТИНРО; д) организации системы ООПТ Дальнего Востока.

5. Научно-образовательные центры ДВО РАН с участием МИОСТ: а) Научно-образовательный центр ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН; б) Международный центр экологического мониторинга ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН; в) Приморский океанариум, филиал ННМБ ДВО РАН.

6. Общественные и государственные организации, в том числе образовательного типа (в качестве партнерских организаций):

- Научно-общественный институт «Академия Экологии»;
- Научно-общественный координационный центр «Живая вода»;
- детский технопарк «Кванториум»;
- Координационный совет по проблемам экологии Приморского края;
- Приморское краевое отделение Российской экологической академии;
- Школа общественных экологических инспекторов (под эгидой Росприроднадзора и ОНФ России);
- Всесоюзный детский центр «Океан» и Эколого-биологический центр ВДЦ «Океан»;
- Дальневосточная межрегиональная экологическая общественная организация «ЗЕЛЕНый КРЕСТ»;
- Всемирный фонд дикой природы (WWF), Амурский филиал.

Таким образом, достигнутый положительный опыт МИОСТ ВВГУ в области экологического образования свидетельствует о том, что система практико-интегрированного обучения, в которую включены академические и отраслевые научно-исследовательские организации, а также общественные экологические и природоохранные организации, – эффективна, жизнеспособна и должна развиваться, создавая новые совместные подразделения, внедряя новые программы, выполняя совместные инновационные проекты, обеспечивающие качественную подготовку студентов и высокий уровень экологического образования.

Однако еще есть над чем работать. При интеграции процессов взаимодействия академической науки, высшего, и школьного образования не следует забывать и о самом молодом поколении нашего общества – дошкольниках. В будущую программу интеграционного развития МИОСТ следует включить и эту группу, и примеры успешной «работы в науке» с дошкольниками и их родителями уже есть [27]. В результате вовлечения дошкольников и младших школьников к адаптированным образовательным программам, как, например, «Первые шаги в науку», формируется логичная и взаимопользная цепочка непрерывного экологического образования, результат которой – формирование экологически осознанного поколения, для которого охрана окружающей среды становится делом жизни. Раннее развитие любознательности и интереса к науке, профессиональная ориентация молодежи «с молодых ногтей», подготовка школьников и студентов к выполнению серьезных научных проектов, участию в научных конференциях, написании статей, к формированию собственных идей, вовлечение юных исследователей (и более широких кругов населения) в проекты «гражданской науки» – все это приведет к появлению нового поколения молодежи с широким экологическим кругозором, с осознанием важности науки и ее достижений для развития человечества и решения современных экологических и социальных проблем. Понимание важности участия общественности не просто в охране окружающей среды, а в активном сборе человечества информации о ней на высоком, почти профессиональном уровне под наблюдением и при консультации ученых определяет «гражданскую науку» как «развивающуюся концепцию научного гражданства, которая выдвигает на первый план необходимость сде-

лать науку и научные политические процессы открытыми для общественности» при восстановлении двух главных аспектов отношений между гражданами и наукой: 1) наука должна реагировать на заботы и потребности граждан; 2) граждане сами могут производить надежные научные знания. Экологом должен стать каждый! – этот призыв через развитие гражданской науки на основе объединения деятельности академической науки, высшей и средней школы, отраслевых наук должен стать основным в образовательных программах разного уровня [28].

Перспективные направления эколого-образовательной деятельности МИОСТ

В качестве перспективных предложений по совершенствованию интеграционной политики МИОСТ и партнерских академических институтов предлагается рассмотреть следующие предложения:

1. Усилить образовательную работу с учителями (в рамках ежегодного научно-практического семинара «Экомониторинг окружающей среды»).
2. Разработать программы по работе с дошкольниками и младшими школьниками: по типу проекта «Первые шаги в науку» (Детская экостудия «Белёк», Приморский океанариум); «День открытых дверей в Науку»; экскурсии по университету и партнерским академическим институтам (знакомство с палеонтологическими, зоологическими, энтомологическими коллекциями, гербарием; проведение различных мастер-классов). В организации и проведении таких мероприятий могли бы помочь студенты ВВГУ и других вузов Приморья.
3. Организовать работу с семейными группами. Как показывает практика, при работе с дошкольниками в рамках экологических проектов, часто родители, а также бабушки и дедушки становятся наиболее заинтересованными участниками. Они разделяют увлечение ребенка и становятся активными помощниками или даже руководителями экологических детских проектов.
4. Необходимо способствовать участию студентов в проведении полноценных экологических экспертиз при реализации проектов строительства особенно опасных экологических производств в регионе.
5. Наладить взаимодействие с институтами ДВО РАН (ТОИ, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН), ДВФУ (Центр робототехники) для освоения и внедрения в практику обучения студентов методов спутникового мониторинга, использований МЛА и программных продуктов, позволяющих обеспечивать гражданский мониторинг состояния окружающей среды с помощью автоматизированных станций и мобильных приложений (к примеру, проект мониторинга состояния качества поверхностных вод, инициированный ФНЦ Биоразнообразия, ТОИ, ТИБОХ ДВО РАН и ДВФУ, в настоящее время проходит апробацию с помощью студентов и школьников Приморского края; группа студентов МИОСТ является одной из целевых групп по проверке мобильных программных приложений).
6. Возможно стоит рассмотреть идею о создании Молодежного информационного центра экологического мониторинга ВВГУ, который мог бы осуществлять связь с общественностью через колл-центр или «Школу экологического инспектора», производить сбор поступающих от населения сигналов об эконарушениях, проводить экологическое картирование наземных и морских территорий, пресноводных экосистем с помощью современных технологий.
7. Перспективными могут оказаться проекты по экологической паспортизации малых водных объектов; проекты по обустройству родников и прибрежных

территорий рек и морского побережья; паспортизация региональных памятников природы.

8. Востребованы проекты в области научного просветительства, распространение информации о новейших достижениях мировой, российской науки, достижениях дальневосточных ученых; необходимо проводить лектории о выдающихся ученых – современных и прошлых лет, основателей научных направлений. Для этого есть возможности как очного проведения лекций, так и в системе онлайн с трансляцией на все регионы Дальнего Востока. Особое внимание следует обратить на популяризацию научных открытий и достижений, сделанных учеными ДВО РАН.

9. Следует привлекать студентов к участию в экологической журналистике, к подготовке студенческих экологических авторских программ. На базе ресурсов ВВГУ предлагается проводить молодежные радио и ТВ передачи – «Экологические пятиминутки», подготовленные самими студентами,

10. Необходимо способствовать развитию проектов по исследованию биоты на территориях ООПТ путем заключения соответствующих договоров о прохождении студентами летних практик в заповедниках Дальнего Востока России. Такое сотрудничество обязательно принесет взаимовыгодный позитивный результат, будет способствовать развитию познания уникального биоразнообразия Дальнего Востока России.

11. Необходимо наладить обмен студентами между российскими (возможно, на первых этапах дальневосточными) вузами, способствовать проведению обмена опытом как профессоры, так и студентов, проводить совместные конференции, практикумы, семинары как в очном, так и онлайн-формате.

12. Следует усилить международный интеграционный аспект:

- разработать и ввести в практику преподавания экологические лекционные курсы на английском языке (языках азиатских стран-соседей);
- наладить участие студентов в федеральных и международных конференциях-конкурсах;
- осуществлять международный обмен студентами;
- расширить программу «Приглашенный спикер» для привлечения выдающихся зарубежных ученых по осуществлению коротких или долгосрочных лекций (очно или онлайн).

13. Планируется создать Международный молодежный экологический клуб «Чистый мир» («Clean World»).

Список рекомендаций может быть увеличен за счет творческих и креативных предложений студентов ВВГУ, а также коллег из партнерских организаций.

Заключение

Экологическое образование, являясь междисциплинарной областью знаний, ориентировано на воспитание независимых, критически мыслящих, социально активных граждан, стремящихся к получению знаний об окружающей среде, способных защищать и сохранять ее целостность и качество. Для этого необходимо объединять усилия различных институтов, вовлеченных в процессы экологического образования по воспитанию нового поколения [29]. В объединении академической, вузовской и отраслевой науки, расширении участников интеграционных эколого-образовательных процессов, в развитии гражданской науки видится решение главной проблемы современности, которая поставила человечество на грань экологической катастрофы. Основной установкой такой интеграционной

политики должна стать парадигма «Экологом должен стать каждый!». Этот призыв становится приоритетным в разносторонней деятельности МИОСТ ВВГУ.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества № 18-2-011758 и 19-2-023124 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000147-6).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Унтура, Г.А. Интеграция науки и образования в университетах регионов: многоканальное финансирование и различные модели организации / Г.А. Унтура // Вестник Томского университета. Экономика. – 2021. – № 54. – С. 53–92.
2. Гомилевская, Г.А. Экологическое образование молодежи средствами туристско-краеведческой деятельности / Г.А. Гомилевская, В.Г. Ден // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2018. – Т. 7, № 4 (25). – С. 76–79.
3. Интеграция академической и университетской науки на примере Санкт-Петербурга: социальные технологии. – URL: https://www.researchgate.net/publication/266264970_Integracia_akademiceskoj_i_universitetskoj_nauki_na_primer_e_Sankt-Peterburga_socialnye_tehnologii.
4. Вшивкова, Т.С. Взаимодействие науки, вузов и школы при организации общественного мониторинга окружающей среды на Дальнем Востоке России: теория и практика / Т.С. Вшивкова // Эколого-биологическое образование в условиях современной России: опыт, проблемы, стратегии: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Владивосток, 2010. – С. 39–43.
5. Вшивкова, Т.С. Научно-общественный координационный центр «Живая вода»: природоохранная и эколого-образовательная деятельность / Т.С. Вшивкова // Перегрузка системы экологического образования: сб. материалов краевой научно-практической конференции. – Хабаровск, 2018. – С. 66–94.
6. Вшивкова, Т.С. Экологические центры как база для развития государственного, частного и общественного мониторинга окружающей среды / Т.С. Вшивкова, Ю.Н. Журавлев // Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и рационального природопользования Дальнего Востока и стран АТР: материалы II Международной конференции. – Владивосток, 2006. – С. 63–68.
7. Вшивкова, Т.С. Возможности экологического образования в деле охраны пресноводных и морских экосистем / Т.С. Вшивкова // Природа без границ: материалы III Международного экологического форума (Владивосток, 12–13 ноября, 2008 г.). – Владивосток, 2009. – С. 205, 206.
8. Ярусова, С.Б. Роль базовых кафедр вуза в решении кадровых проблем / С.Б. Ярусова, Н.Б. Бабусова, Н.В. Иваненко, А.А. Нарбутович // Сборник материалов и докладов V Всероссийской научно-практической конференции по экологическому образованию, г. Москва, 20–21 ноября 2017 г. – Москва: Фонд имени В.И. Вернадского, 2018. – С. 1100–1107. – Т. 2.
9. Ярусова, С.Б. Базовая кафедра как инструмент реализации практико-интегрированного обучения в современном университете / С.Б. Ярусова, И.Ю. Буравлев, Н.В. Иваненко // Глава 3.7 в монографии «Высшая школа: традиции и инновации. Актуальные вопросы и задачи системы образования РФ: монография» / кол. авторов; под ред. Е.В. Ляпунцовой, Ю.М. Белозеровой, И.И. Дроздовой. – Москва: РУСАЙНС, 2019. – 296 с.

10. Ярусова, С.Б. Профессиональная подготовка экологов во Владивостокском государственном университете экономики и сервиса / С.Б. Ярусова, Н.В. Иваненко, Л.В. Якименко // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVIII международной науч.-практич. конф. (октябрь, 2020 г.); под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2020. – С. 58–60.

11. Yarusova, S.B. Integration of education and science through the organization of basic departments and scientific and educational centers / S.B. Yarusova, N.V. Ivanenko, V.N. Makarova // Advances in 10. Economics, Business and Management Research. International Scientific Conference "Far East Con" (ISCFEC 2018), 2018. – Vol. 47. – P. 1105–1108.

12. Ярусова, С.Б. К вопросу о повышении эффективности профессиональной подготовки специалистов экологического профиля / С.Б. Ярусова, Н.В. Иваненко, Т.С. Вшивкова [и др.] // Образование – 2030. Учиться. Пробовать. Действовать. Сборник статей VII Всероссийской конференции по экологическому образованию, г. Москва, 27–28 октября 2021 г. – Москва: Фонд имени В.И. Вернадского, 2021. – С. 321–327.

13. Вшивкова, Т.С. Введение в биомониторинг пресных вод: учебное пособие / Т.С. Вшивкова, Н.В. Иваненко, Л.В. Якименко, К.А. Дроздов. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2019. – 240 с.

14. Вшивкова, Т.С. Оценка влияния Партизанской ГРЭС на экологическое состояние р. Партизанская и р. Ключ Лозовый / Т.С. Вшивкова, М.В. Омельченко, Е.В. Бурухина [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – Вып. 3. – С. 139–155.

15. Вшивкова, Т.С. Оценка экологического состояния р. Вторая Речка по показателям макрозообентоса / Т.С. Вшивкова, Т.В. Никулина, К.А. Дроздов [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 60–70.

16. Дроздов, К.А. Портал дальневосточных экологов www.east-eco.com и его роль в экообразовании и охране окружающей среды / К.А. Дроздов, Т.С. Вшивкова // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2017. – № 3. – С. 27–31.

17. Жарикова, Е.А. Экологическое состояние вод, донных осадков и почв долины р. Вторая Речка (по химическим и микробиологическим показателям) / Е.А. Жарикова, С.В. Клышевская, А.Д. Попова, Т.С. Вшивкова [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 71–76.

18. Никулина, Т.В. Оценка состояния вод р. Вторая Речка по данным анализа перифитонных диатомовых сообществ (Владивосток, Приморский край) / Т.В. Никулина, Т.С. Вшивкова, Д.С. Чебан, В.П. Невельская // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2021. – Вып. 9. – С. 118–128.

19. Мурашова, К.А. Проблема загрязнения городских водотоков на примере реки Вторая Речка (Владивосток, Приморский край) / К.А. Мурашова, М.В. Пекарский, Т.С. Вшивкова [и др.] // Природа без границ: материалы X Международного экологического форума. Владивосток: ДВФУ, 2016. – С. 209–213.

20. Пекарский, М.В. Экологическое состояние р. Черная Речка (окрестности Владивостока) и выявление экологических нарушений согласно Водному Кодексу / М.В. Пекарский, К.А. Мурашова, К.А. Дроздов, Н.В. Иваненко,

Т.С. Вшивкова // Природа без границ: сб. материалов X Международного экологического форума. – Владивосток, 2016. – С. 219–228.

21. Pekarsky, M.V. Small streams – under public protection (example of public monitoring and control of suburban streams, Vladivostok, Primorsky Krai) / M.V. Pekarsky, K.A. Murashova, K.A. Drozdov, N.V. Ivanenko, T.S. Vshivkova // 3rd International Symposium of the Benthological Society of Asia: Abstract Book. – Vladivostok, 2016. – P. 95.

22. Вшивкова, Т.С. Академия экологии: научно-образовательная площадка для подготовки общественных экологических инспекторов / Т.С. Вшивкова, Ю.Н. Журавлев // Природа без границ: сб. итоговых материалов XII Международного экологического форума (18–19 октября 2018 г., Владивосток). – Владивосток, 2018. – С. 76–79.

23. Сибирина, Л.А. Международная Дальневосточная молодежная экологическая конференция «Человек и биосфера» / Л.А. Сибирина, Т.С. Вшивкова // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2017. – № 3. – С. 80–84.

24. Morse, J.C. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia / J.C. Morse, Y.J. Bae, G. Munkhjargal, N. Sangpradub, K. Tanida, T.S. Vshivkova, B. Wang, L. Yang, C.M. Yule // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2007. – Vol. 5, no. 1. – P. 25–43.

25. Sibirina, L.A. Monitoring of Primorsky Territory freshwater by public ecological agencies / L.A. Sibirina, A.M. Akatkina, A. Skriptzova, T.S. Vshivkova // Zoosymposia. – 2016. – Vol. 10, no. 1. – P. 393–397.

26. Вшивкова, Т.С. Международный экологический форум «Сохранение биоразнообразия в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 50 лет Программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера (МАВ)» / Т.С. Вшивкова, С.Б. Ярусова, Г.А. Гомилевская // Дальневосточный Ученый. – 2022.

27. Вшивкова, Т.С. Первые шаги в Науку – вместе с родителями: «Белёк» в ФНИЦ Биоразнообразия ДВО РАН / Т.С. Вшивкова, Т.В. Черных. – 2020. – URL: <https://www.east-eco.com/node/6245>.

28. Вшивкова, Т.С. Каждый должен стать экологом / Т.С. Вшивкова, П.А. Салюк, К.А. Дроздов, Л.А. Сибирина // Будущее зависит от нас: тезисы докладов XVII Международной молодежной экологической конференции «Человек и биосфера» (25–27 марта 2020 г.): сб. тезисов. – Владивосток: НОКЦ «Живая вода», 2020. – № 17. – С. 14–27.

29. Моисеев, Н.Н. Экология и образование / Н.Н. Моисеев. – Москва: ЮНИСАМ, 2000. – 192 с.

Информация об авторах

Гомилевская Галина Александровна, канд. экон. наук, директор Международного института окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет. E-mail: gag17@yandex.ru

Вшивкова Татьяна Сергеевна, Ph.D., старший научный сотрудник лаборатории пресноводной гидробиологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН; заведующая научной лабораторией экологического мониторинга, Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет; доцент Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

Section IV. DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT EDUCATION AND ENLIGHTENMENT

Chapter 26. EXPERIENCE OF SCIENTIFIC COOPERATION OF INTERNATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENT AND TOURISM (VLADIVOSTOK STATE UNIVERSITY) WITH ACADEMIC INSTITUTES OF THE FAR EASTERN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCE IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL EDUCATION AND PROFESSIONAL TRAINING OF STUDENTS

Galina A. Gomilevskaya¹, Tatyana S. Vshivkova^{1,2,3}

Abstract. *The article discusses the issues of integration of environmental education in a modern university on the example of the International School for Environment and Tourism of Vladivostok State University (ISEN VVSU). Ecology as a worldview science is the basis for educating a new generation of young people, and universities should be involved in the process of such education at the earliest stages. Particular attention should be paid to the integration of environmental and educational activities of universities with academic and industry science, the development of a practice-integrated learning system.*

Keywords: *environmental education; scientific cooperation; integration*

Information about authors

Galina A. Gomilevskaya, Ph.D., Director of the International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University. E-mail: gag17@yandex.ru

Tatyana S. Vshivkova, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Freshwater Hydrobiology, Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Science; Associate Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU); Head of the Scientific Laboratory of the Environmental Monitoring, International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

¹ International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University, 41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014, Russia.

² Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

³ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 27. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ОДИН ИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

В.А. Калинин^{1,2}

***Аннотация.** Представлен анализ исследовательских и проектных работ учащихся естественно-научной направленности. Дана оценка уровня проработанности материала и соответствия работ понятию «исследование». Показана взаимосвязь между эколого-просветительскими занятиями и мастер-классами, проводимыми в научных учреждениях, и развитием экологической культуры и навыков в исследовательской деятельности.*

***Ключевые слова:** исследовательская деятельность; школьники; Ботанический сад-институт; экологическая культура.*

Образование является важным звеном в формировании у человека понимания своего места в биосфере; процесс обучения в современном обществе – непрерывный и целенаправленный. Тот факт, что в получении новых знаний лежит научная картина мира, свидетельствует о необходимости взаимодействия науки и образования, роль которых распространяется на все компоненты образовательного процесса: цели, средства, принципы, методы и на его результаты.

Предмет «Экология», который предназначен для изучения совокупности и структуры связей между организмами и природной средой, в настоящее время не включен в список обязательных для учащихся средних школ, и изучение экологии как науки происходит небольшими блоками на предметах биологии и химии, на факультативах или в системе дополнительного образования в кружках «Юный биолог и эколог». В то же время с понятием «экология» дети сталкиваются очень рано. В образовательных учреждениях им рассказывают, что «экологию нужно улучшать», «хорошая экология очень важна» и т.д. Однако экология – это наука, и, для того чтобы ее знать или улучшать, ее необходимо изучать. При этом простое чтение теории, особенно в школе, не сможет сформировать экологическое мировоззрение обучающихся. Экологическое образование – это целостный педагогический процесс, решающий одновременно несколько задач: задача обучения предполагает усвоение учащимися системы мировоззренческих идей и понятий; задача воспитания связана с формированием взглядов, убеждений, ценностных ориентаций, что требует доказательного осмысления обучающимися мировоззренческих идей, ценностей, дискуссионного обсуждения спорных вопросов, применения мировоззренческих знаний на практике; задача развития связана со становлением научного стиля мышления, побуждает к использованию проблемного обучения, включению учащихся в решение теоретических и практических проблем [1]. В комплексе происходит взаимодействие природы, общества и человека, направленное на формирование у последнего экологического мышления, сознания и экологической культуры.

Современное экологическое образование характеризуется многообразием форм практико-ориентированной деятельности учащихся [2]. Исследовательская

¹ ФГБУН Ботанический сад-институт ДВО РАН, 690024, Приморский край, г. Владивосток, ул. Маковского, 142.

² Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

деятельность является одним из наиболее эффективных способов построения образования, направленного на развитие активной личности, успешной в постоянно изменяющихся условиях жизни [3]. Она способствует пониманию школьниками общей картины мира, знакомит с видовой, уровневой организацией живой и неживой природы – от простейших живых организмов до сложно устроенных биогеоценозов, с многообразием форм у растений (деревья, кустарники, травы и др.) и животных (среда обитания, способ передвижения и пр.). Учащиеся приобретают навыки наблюдения, сравнения, измерения, учатся проводить экспериментальные исследования, анализировать, делать выводы, строить прогноз, моделировать и оценивать [4]. Рассматривая понятие «исследовательская деятельность», необходимо понимать, что это образовательная технология, использующая в качестве главного средства достижения образовательных задач учебное исследование, задача которого не имеет заранее известного решения. В процессе реализации таких этапов исследовательской деятельности, как постановка проблемы (или выделение основополагающего вопроса), изучение теории, связанной с выбранной темой, выдвижение гипотезы исследования, подбор методик и практическое овладение ими, сбор собственного материала, его анализ и обобщение, собственные выводы, происходит поиск истины (фундаментальных знаний) как главного продукта исследования. Учебное исследование включает научно-исследовательскую, учебно-исследовательскую и проектную деятельность учащихся [5].

Анализ работ школьников, поступающих на различные экологические конференции в г. Владивостоке, подтверждает их деление, приведенное в работе Т.В. Уткиной, И.С. Бегашевой [5], на реферативные работы, являющиеся не исследованием, а кратким изложением уже опубликованных ранее данных; экспериментальные работы, которые повторяют эксперимент и получают данные, известные в науке; проектные работы, имеющие заранее проработанный план достижения результата и его описание; натуралистические описания, заключающиеся в наблюдении по определенной методике за объектом или явлением, в фиксации полученных данных без выдвижения гипотезы и интерпретации данных, и, собственно, исследовательские работы, подразумевающие выполнение эксперимента на собственном материале с использованием научной методики и последующей интерпретацией данных, на анализе и выводах, при этом результат эксперимента заранее неизвестен ни преподавателю, ни ребенку. Все эти направления работы в комплексе наук «биология – химия – экология» являются творческими работами, формирующими у школьников в результате проработки материала экологическое мировоззрение и экологическую культуру.

Если рассматривать экологические работы, поданные на краевые и городские экологические конкурсы за последние три года, стоит отметить постепенное изменение их форм подачи и степени проработки вопроса от дополнительного, среднего до высшего звена.

В системе начального общего образования одним из приоритетных направлений являются экспериментальные работы. При этом часто работы имеют социальный характер, например: «Гигиена зубов», «Неужели наша планета скоро превратится в свалку?», «Ожоги», «Окружающая среда и здоровье человека» (работа о разделении отходов в домашних условиях) и др. Натуралистические описания встречаются не часто, что, возможно, связано с требованиями, прописанными в положениях к конкурсам, где описательные работы не содержащие гипотезы и выводов не приветствуются. Причем это направление, вместе с экспериментальным и проектным, встречается в работах дошкольников [6, 7].

Несмотря на проведение экспериментальных работ в начальном звене, встречаются и реферативные работы, что, на наш взгляд, сильно занижает получение знаний ребенком, так как в юном возрасте работать с научной литературой школьники еще не могут в полной мере. При проценте оригинальности 40 и ниже возникают вопросы, что делал ребенок при проработке эксперимента, какую литературу смотрел именно он? Некоторые темы работ, несмотря на свою актуальность среди подрастающего поколения, выбираются ребенку не по возрасту. К таким темам, например, относится изучение состава вейпов в 1-м классе.

Учащиеся среднего и старшего звена уже умеют пользоваться литературными источниками, в том числе интернет-источниками, и представляют на конкурс все вышеуказанные типы творческих работ. Реферативных работ больше среди обучающихся среднего звена, при этом ребята и средних и старших классов поднимают вопросы социализации и здоровья («Прокрастинация – болезнь XXI века», «Акне», «Опасный пар», «Вейп – искусно скрытая угроза!», «Табак и его влияние на здоровье человека»), однако процент заимствования (уровень плагиата) в работах может достигать 90 %; это свидетельствует о том, что дети и педагоги участвуют в конкурсах достаточно формально. В реферативных работах практическая часть часто представлена разработанной и проанализированной анкетой, проверить репрезентативность выборки и анализа данных у которой достаточно проблематично. И напротив, есть работы, напрямую связанные с анализом имеющейся уже в науке информации; после проработки материала процент оригинальности достигает 96 % (например, «Геология Приморского края»). Экспериментальные работы («Безопасность самодельной акварели», «Влияние газированных напитков на организм человека») часто не верно трактуются как исследования.

Введение в школьном курсе обязательной сдачи в 9-м классе проектной, а в 11-м – исследовательской работ способствовало проработке экологических тем, особенно связанных с утилизацией отходов. Среди проектных работ в этой возрастной категории встречаются «Эко-сумка», «Вторая жизнь вещей», «Good luck, Tetra Pak!»; их отличительной особенностью становится наличие сметы проекта или бизнес-плана. Исследовательские работы (например, «Биоразнообразие залива Петра Великого в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия», «Внедрение и продвижение технологий раздельного сбора и вторичной переработки полистирольного мусора», «Влияние качества воды реки Обь на прорастание некоторых сельскохозяйственных культур») часто имеют научного руководителя не только из школы, но и из вуза или научного института. При анализе этих работ, особенно без наглядного материала, часто не понятен вклад самих обучающихся, который они демонстрируют уже на защите своих работ. В данных возрастных категорий, уже как никогда, становится понятна профессиональная ориентация ребенка, его желания и профессиональные компетенции, такие как умение работать с научной литературой, делать доклад, отвечать на вопросы.

Система дополнительного образования достаточно благодатная ниша для реализации всех направлений исследовательской деятельности, несмотря на возраст обучающихся. При разработке рабочей программы и наличии необходимой материальной базы опытный педагог может построить занятия таким образом, чтобы максимально насытить занятия экспериментами, начиная от самых простых и понятных, часто проводимых даже в детских садах, до сложных и специализированных. Обучаясь работать

с научным оборудованием и самостоятельно проводя научные эксперименты (биохимический анализ воды, воздуха, почвы, реакции растений и животных на антропогенные изменения, происходящие в непосредственной близости с их местом жизни, с их домом, в их городе), воспитанники начинают понимать на конкретных примерах глобальный масштаб изменений, происходящих в живой и неживой природе. Прорабатывая при этом проекты, педагог может показать, что, изменив себя, человек может изменить мир, свою планету к лучшему. При этом если для воспитанников младшего и среднего возраста вполне достаточно проведения элементарных анализов мутности, прозрачности воды, то ребята старшей группы при наличии химической лаборатории, могут поставить эксперимент или провести исследование более глубокого характера.

В последнее время в рамках разных предметов школьного курса развивается кейсовая технология обучения или обучение действием [8, 9]. Создавая определенную проблемную ситуацию, педагог вынуждает воспитанников на основании решения конкретных задач (кейсов) искать пути решения проблемы. При этом явного решения исходной проблемы нет; достигнуть его можно, решив поступательно ряд задач и проработав литературу. Кейсом для школьников может быть, например, создание «Искусственных экосистем» с видами определенного региона.

Отдельно стоит упомянуть про эколого-просветительские мероприятия, проводимые в научных организациях, таких как Приморский океанариум (филиал ННЦМБ ДВО РАН), ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, ФГБУН Ботанический сад-институт ДВО РАН: всевозможные научные экскурсии, лекции, квесты и образовательные программы. Все они направлены на познание основных законов природы, воспитание любви к родной природе и на развитие познавательного интереса детей; результатом последнего часто становится творческая, в том числе исследовательская, работа.

На территории г. Владивостока одним из мест, где можно получить полную и достоверную информацию о растениях родного края, является Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук. Уже многие годы в организации активно проводится работа по эколого-ботаническому просвещению с использованием опыта, накопленных за 70 лет знаний, коллекции живых растений, гербария и информационных ресурсов [10]. Элементы исследовательской деятельности школьников прослеживаются в таких мероприятиях, как «Недели экологического образования и просвещения», региональная научная конференция для школьников «День рододендрона», а также при проведении квестов («Старожилы леса», «Тайна пяти хвоинок»), при организации тематических эколого-ботанических мероприятий («Кленовый переполох», «Дубы-колдуны», «Тайные лаборатории») и др. Все эти мероприятия в той или иной степени содержат такое направление исследовательской деятельности, как эксперимент. Конференция предполагает более глубокую проработку конкретной темы и может включать все направления исследовательской деятельности.

Стартовавший в 2017 г. «межмузейный маршрут» объединил единой темой сразу несколько научных институтов и учреждений культуры г. Владивостока. Это позволило участникам маршрута более глубоко познакомиться с конкретной темой, включить в работу эксперимент и решить некоторые вопросы до полноценного учебного исследования или исследовательского проекта.

Одной из интересных форм методической работы, которая способствует развитию у обучающихся интереса к исследовательской деятельности, является мастер-класс. За последние несколько лет сотрудники сада разработали и апробировали несколько десятков мастер-классов: от простых («Ботаническая закладка», или «Лесной

сувенир»), подходящих для любого возраста, начиная с младшей группы детского сада, до сложных и наукоемких («Микромир», «Большие миры в маленьком стекле», «Кленовые розы», «Ловец снов»). Жизнь «в телефоне» и часто не проверенная информация приводят к тому, что люди, работая с растениями, совершают агротехнические ошибки. Участие в таких мастер-классах, как «Весенняя обрезка деревьев», «Топиарное искусство», «Агротехника цитрусовых в квартирах», «Агротехника орхидей», «Магнолии из семян», позволяет достаточно локально не просто транслировать научный опыт, а передавать методику от ученого-специалиста всем участникам занятия. Мастер-классы разовые и постоянные в школах юного садовода позволяют не просто познакомить посетителей с понравившимся объектом, но и дать им научные знания о жизни и правилах ухода за растениями.

Заключение

Формирование экологической культуры очень тесно связано с исследовательской деятельностью ребенка на всех этапах его взросления. Через эксперименты, опыты, наблюдения, мастер-классы, чтение и анализ книг, через поиск истины происходит познание мира, осознание человеком себя как его части, что помогает ему оценивать не только свои действия, но и действия окружающих.

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем «Аборигенная и инвазионная флора Восточной Азии: трансформация в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на экосистемы» (регистрационный номер 122040800085-4), «Введение в культуру, изучение и сохранение генетических ресурсов хозяйственно ценных растений Восточной Азии» (регистрационный номер 122040800086-1).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Бабакова, Т.А. Проблема становления научного экологического мировоззрения обучающихся / Т.А. Бабакова // Экологическое образование для устойчивого развития: теория и педагогическая реальность: матер. XIV Междунар. науч.-практич. конф. (Нижний Новгород, 28–30 ноября 2017 г.). – Нижний Новгород: Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, 2017. – С. 4–9.
2. Муравьев, А.Г. Экологический практикум: учебное пособие с комплектом карт-инструкций / А.Г. Муравьев, Н.А. Пугал, В.Н. Лаврова. – Санкт-Петербург: Крисмас+, 2003. – 176 с.
3. Комарова, И.В. Технология проектно-исследовательской деятельности школьников в условиях ФГОС / И.В. Комарова. – Санкт-Петербург: КАРО, 2015. – 126 с.
4. Медеян, Е.В. Экологические исследования и проекты школьников на особо охраняемых природных территориях Приморского края: учебно-методическое пособие / Е.В. Медеян, Г.А. Какорина. – Владивосток: ПК ИРО, 2015. – 137 с.
5. Уткина, Т.В. Проектная и исследовательская деятельность: сравнительный анализ / Т.В. Уткина, И.С. Бегашева. – Челябинск: ЧИППКРО, 2018. – 59 с.
6. Артеменко, Б.А. Эколога-биологический эксперимент в детском саду: учебно-методическое пособие / Б.А. Артеменко; Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. – Челябинск: Цицеро, 2017. – 48 с.

7. Мир экологии и национальный проект «Десятилетие детства»: проблемы и перспективы экологического воспитания дошкольников // Сборник материалов XVI региональной научно-практической конференции по проблемам экологического воспитания дошкольников. – Нижний Новгород, 2018. – 715 с.

8. Азбель, А.А. Тетрадь кейсовых практик: опыт самостоятельных исследований в 7–8 классах / А.А. Азбель, Л.С. Илюшин. – Москва: ГБОУ ВО МГПУ, 2015. – Ч. 1. – 59 с.

9. Азбель, А.А. Тетрадь кейсовых практик: опыт самостоятельных исследований в 8–9 классах / А.А. Азбель, Л.С. Илюшин. – Санкт-Петербург: Школьная лига, 2015. – Ч. 2. – 47 с.

10. Храпко, О.В. Ботанический сад-институт как центр эколого-ботанического образования / О.В. Храпко, В.Д. Небайкин // Биология в школе. – 2011. – № 2. – С. 64–69.

Информация об авторе

Калинкина Валентина Андреевна, канд. биол. наук, заведующий лабораторией интродукции и селекции, ФГБУН Ботанический сад-институт ДВО РАН; доцент кафедры биоразнообразия и морских биоресурсов, Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). E-mail: conf-lf@yandex.ru

Section IV. DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT EDUCATION AND ENLIGHTENMENT

Chapter 27. RESEARCH ACTIVITY AS ONE OF THE MECHANISMS FOR THE FORMATION OF ECOLOGICAL CULTURE

Valentina A. Kalinkina^{1,2}

Abstract. *An analysis of the research and design work of students in the natural sciences are present in the article. An assessment of the level of elaboration of the material and the correspondence of the works to the concept of research is given. The relationship between environmental education classes and master classes held in scientific institutions and the development of environmental culture and research skills is shown.*

Keywords: *research activity; pupils; Botanical Garden-Institute; ecological culture*

Information about authors

Valentina A. Kalinkina, Ph.D., Head of the Laboratory of introduction and selection, Botanical Garden-Institute FEB RAS, Associate Professor of Department of Biodiversity and Marine Bioresources, Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University. E-mail: [lf@yandex.ru](mailto:conf-<a href=)

¹ Botanical Garden-Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 142 Makovskii str., Vladivostok, 690024, Russia.

² Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Глава 28. НАУКА В «ОКЕАНЕ»: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СФЕРЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ МЕЖДУ АКАДЕМИЧЕСКИМИ ИНСТИТУТАМИ, ВУЗАМИ И ВДЦ «ОКЕАН»

А.Б. Крамар¹, Т.С. Вшивкова^{2,3,4}, К.А. Дроздов⁵

Аннотация. Представлена информация об интеграции образовательной деятельности ВДЦ «Океан» с академической наукой. Рассмотрены уникальные особенности образовательной платформы ВДЦ «Океан» и перспективы дальнейшего развития программ дополнительного образования. Приведены примеры проектов, реализованных Всероссийским детским центром «Океан» в области экологии и охраны окружающей среды совместно с учеными Дальневосточного отделения Российской академии наук и вузами Приморского края.

Ключевые слова: дополнительное образование; интеграция науки и средней школы; детский научный центр.

Всероссийский детский центр «Океан» с 1983 г. организует активный отдых и образовательную деятельность школьников в условиях временного детского коллектива и интенсивной среды пребывания. Со времени открытия Центра реализовано множество различных мероприятий – слетов, сборов, фестивалей, тематических смен научно-исследовательской направленности [1]. Особенное место среди них занимают экологические программы, которые выполняются на основе интеграции с академической и вузовской наукой. Приглашенные преподаватели – научные сотрудники институтов ДВО РАН, профессора и доценты ДВФУ, ВГУЭС и других вузов Приморского края. Начало дружбе ВДЦ «Океан» с большой наукой было положено около 30 лет назад, когда приглашенные ученые впервые пришли в Центр и стали рассказывать о своих исследованиях, о научных открытиях, о том, как стать ученым, исследователем окружающего мира, как научиться задавать вопросы и отвечать на них.

Появление научно-образовательных программ, адресованных старшеклассникам, заинтересованным в научной деятельности (победителям различных научно-исследовательских конкурсов, олимпиад, участникам научных кружков и лабораторий), было инициировано около 30 лет назад начальником образовательного комплекса «Океан» Э.В. Марзоевой. С тех пор ВДЦ «Океан» стал одним из интеллектуальных полигонов в образовательной системе Российской Федерации, на котором разрабатываются современные образовательные технологии и методики с целью их распространения в субъектах Российской Федерации.

¹ Эколого-биологический центр ВДЦ «Океан», Всероссийский детский центр «Океан», 690108, Приморский край, г. Владивосток, ул. Артековская, 10.

² Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159/1.

³ Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет, 690014, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41.

⁴ Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10.

⁵ Ихоокеанский институт биоорганической химии, ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостоку, 159.

В «Океане» проводятся предметные олимпиады региональных всероссийских этапов, интеллектуальные конкурсы, конкурсы учебно-исследовательских работ, рефератов, чемпионаты интеллектуальных игр, защита оригинальных идей и интеллектуальных проектов. В Центре созданы необходимые условия для организации занятий по дополнительному образованию, активно развиваются такие направления дополнительного образования, как спортивно-оздоровительное, техническое, туристско-краеведческое, социально-педагогическое, художественное. Особенное внимание уделяется эколого-биологическому образованию, привлечению детей к выполнению научно-исследовательских проектов в области биологии и экологии, охраны окружающей среды. Во многих научно-образовательных программах принимают непосредственное участие ученые ДВО РАН и вузов Приморского края.

Особенные отношения у ВДЦ «Океан» сложились с Научно-общественным координационным центром «Живая вода» (создан при Биолого-почвенном институте ДВО РАН, ныне ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), который с начала своей организации в 2003 г. начал устанавливать тесные связи с образовательными организациями Приморского края (а затем и Восточной России), создавая сеть общественных экологических агентств на базе школ, вузов, экологических организаций для обучения слушателей методам оценки качества окружающей среды. Специалисты НОКЦ практически каждый год принимали участие в профильных сменах, связанных с научными исследованиями [2].

История сотрудничества ученых и ВДЦ «Океан»

1991 г. Одной из первых смен, начавших научно-образовательную работу совместно с учеными ДВО РАН, была смена «Техника. Прогресс. Человечество», организованная в 1991 г. по инициативе начальника образовательного комплекса Э.В. Марзоевой. Для проведения разнообразных лекционных курсов были приглашены биологи, экологи, химики, океанологи и представители других направлений науки из академических институтов. Знакомство с ними началось с лектория о науке, где ученые рассказывали о развитии науки на Дальнем Востоке России, о сути своей работы, об интересных открытиях и перспективах научных исследований. Были проведены и практические занятия по исследованию качества окружающей среды. С этого времени установилась тесная связь ВДЦ «Океан» с дальневосточными учеными, стали формироваться специальные смены для школьников, увлеченных научными исследованиями, для участников и победителей олимпиад.

1994 г. Стартует смена «Интеллект» для ребят-победителей районных и городских предметных олимпиад. Интеллектуально-одаренные школьники, творческие, увлекающиеся исследовательской работой, приезжающие из разных уголков страны, стали участвовать в разнообразных мероприятиях, призванных поддержать талантливых детей, выявить и развить их творческие способности, привить интерес к углубленному изучению предметов. Позже, при участии ДВФУ, в смене «Интеллект» стала проводиться финальная часть олимпиады «Океан знаний» в рамках Программы повышения конкурентоспособности ДВФУ по Проекту 5–100.

2006 г. В этом году ВДЦ «Океан» стал площадкой для проведения III Международного детского симпозиума по проблемам экологии в странах АТР, в котором приняли участие школьники России, Китая, Кореи, Монголии и Японии. В программе симпозиума, организованного Администрацией Приморского края, совместно с учеными НОКЦ «Живая вода» и ПК СУНЦ им. В. Дубинина был про-

веден экологический практикум на водотоках ВДЦ «Океан» по обучению технологиям пресноводного мониторинга. На практических примерах школьникам было продемонстрировано то, как дети могут производить оценку качества пресных вод с помощью водных беспозвоночных, проводить эокартинг, собирать данные об экологическом состоянии водотоков и тем самым способствовать сохранению водных ресурсов в своих регионах. Специально для этого симпозиума учеными было подготовлено методическое руководство по пресноводному мониторингу, которое было переведено на пять языков для стран-участниц [3].

2008 г. Стартует смена «Наука. Человечество. Прогресс». В ней приняли участие ребята, серьезно увлекающиеся наукой и желающие связать с ней свою жизнь. Эта и последующие смены данного направления продолжили традиции смены «Интеллект». По итогам научных исследований школьников проводится финальный «Молодежный конвент», дающий возможность участникам программы продемонстрировать свои наработки и публично представить свои научно-исследовательские проекты, выполненные под руководством ученых.

2011 г. Смена «Живи, Земля!». В рамках этого молодежного форума состоялась научно-практическая конференция «Жизнь планеты в руках человека». Чтобы выступить на мероприятии, участникам понадобилась подготовка, которая длилась всю смену. Ребята учились перерабатывать мусор, изучали проблемы окружающей среды и находили пути спасения от потенциальных экологических катастроф.

2015 г. С этого года стали регулярно проводиться профильные смены «Мир открытий», организованные Российским географическим обществом (РГО). Это крупнейший молодежный просветительский проект РГО, в котором принимают участие тысячи детей со всей России. В рамках программы они проводят собственные исследования, знакомятся с самым современным профессиональным оборудованием, встречаются с известными учеными, режиссерами, путешественниками и экспертами в самых различных областях географии.

2017 г. В рамках Марафона открытий детских технопарков «Кванториум» в октябре 2017 г. на базе ВДЦ «Океан» состоялось открытие «ИТ-Квантума», в котором ребята занимались прототипированием электронных устройств и проводили исследовательские работы различного уровня сложности. «ИТ-Квантум», запущенный совместно с ПАО «Ростелеком», создан в рамках программы развития Всероссийского детского центра «Океан»; стал примером для тиражирования в других всероссийских детских центрах. Новый «ИТ-Квантум» оснащен самым современным компьютерным оборудованием; открывает для обучающихся новые возможности в области ИТ-технологий. Класс для занятий техническим творчеством позволяет превратить процесс обучения и процесс защиты разработанных ребятами проектов в очень увлекательное и продуктивное мероприятие.

2018 г. В ВДЦ «Океан» стартует дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа «Первая экспедиция», которая привела к развитию последующих направлений, связанных с морской наукой [1].

2019 г. В рамках партнерства ФГУП «Росморпорт» и ВДЦ «Океан» реализуются три профильные тематические смены, направленные на развитие у участников идей интернационализма через изучение основ международного мореплавания и морского дела. С этого года морская наука стала постоянным блоком в комплексе научно-исследовательских программ.

С **2020 г.** произошли некоторые ограничения в деятельности ВДЦ «Океан», вызванные распространением коронавирусной инфекции COVID-19. Но с

2022 г. Центр стал работать в прежнем режиме, расширив спектр научно-исследовательских программ.

Современные научные проекты в ВДЦ «Океан» и перспективы развития научно-исследовательского направления

Новая жизнь Центра, начавшаяся после ограничений из-за COVID-19, ознаменовалась созданием Эколого-биологического центра ВДЦ «Океан» (руководитель – А.Б. Крамар) и появлением новых программ, связанных с научными исследованиями. Многолетняя история сотрудничества Центра с *большой наукой* показала возрастающий интерес молодежи к исследовательской деятельности, к участию в проектах под руководством дальневосточных ученых, к изучению окружающей среды и вопросам ее сохранения и преобразования в соответствии с вызовами XXI в. Прекрасно оснащенный Эколого-биологический центр ВДЦ «Океан» с лабораториями, позволяющими исследовать окружающую среду (пресноводные и морские экосистемы, лесные формации, почвы, воздух с помощью традиционных и современных научных методов), открывает широкие перспективы не только для обучающей деятельности в рамках двадцатидневных смен, но и позволяет организовывать долговременные длительные научно-исследовательские работы с продолжающимся участием (в формате онлайн, очном и заочном) вовлеченных в проекты школьников. Такая серьезная научная деятельность в пролонгированном режиме позволит повысить профессиональные навыки школьников, довести результаты их исследований до уровня настоящих научных работ с возможностью публикации в научных журналах. Предполагается привлечение к совместному выполнению научных проектов студентов ДВФУ и ВВГУ в рамках полевых практик, при выполнении курсовых и дипломных проектов. Результаты проектов планируется представлять на различных молодежных конференциях и симпозиумах, таких как популярная Международная молодежная экологическая конференция «Человек и биосфера», региональные вузовские молодежные конференции и форумы федерального и международного уровня. Участие школьников и студентов в совместных исследованиях поможет повлиять на выбор будущей профессии молодежи, поспособствует в выборе вуза, обусловит направление их деятельности в будущем. Для студентов площадка ВДЦ «Океан» может предоставить возможности реализации первичных навыков педагогической и преподавательской деятельности.

Перспективными для развития интеграции ВДЦ «Океан» с академической и вузовской наукой представляются новые профильные смены: «Технологии будущего» (IT-Океан), «Творцы перемен» («Фестиваль городских изобретателей», «Российский интеллект»), «Исследуя неизведанное» («В мире естественных наук»), «Время открытий» («Мир открытий», «Слет школьных лесничеств», «Человек-амфибия»), «Время проб» («Экологический форум "Живи, Земля!"», «Исследователи моря»), «Моя Россия» («Экологика» – дополнительная общеразвивающая программа, реализуемая Российским движением школьников с 2022 г.), и другие.

Большой интерес представляют уже реализованные в 2022 г. программы:

– «Океанская Эскадра»: направлена на профориентацию старшеклассников, формирование и развитие навыков, связанных с изучением и освоением моря, помогает привлечь молодежь к морским специальностям, задуматься о развитии Дальнего Востока;

– «Морские исследователи»: включает проекты по изучению растительного мира морского побережья и акваторий, исследованию особенностей развития морских организмов, изучению загрязненности воды, воздуха, почвы;

– «Морской технопарк»: предлагает проекты по морской и подводной робототехнике, морской инженерии, 3D-моделированию и прототипированию (проект «умный маяк», совмещенный с автономной метеостанцией; проект по изучению альтернативных источников энергии).

В перечисленные проекты включены:

– *техническо-прикладной блок подпроектов*, предполагающий: обучение основам пилотирования и балластировки подводных аппаратов в искусственном водоеме и открытом море; пилотирование квадрокоптеров и аэрофотосъемку; обучение прототипированию морских животных и работу в графическом редакторе; организацию морских путешествий («маршрут мечты» и оценка логистических возможностей для путешествий);

– *учебно-исследовательский блок подпроектов*, включающий: работы по искусственному размножению морских ежей; практическое изучение химии моря; экстрагирование морских ежей и морских водорослей, изготовление косметических масок и мармелада; анализ состояния морских и пресных вод в акватории бухты Емар; анализ влияния моря на устойчивость земляного покрова и эрозию почв;

– *творческий блок*, предполагающий: занятия живописью, изготовление поделок своими руками; обучение основам фотографии (фотопортреты детей-исследователей); проведение иммерсивных прогулок по бухте Емар; постановку театрализованных представлений.

Исследовательская работа является стартовым элементом, своего рода триггером, который запускает механизмы постижения себя. Эта работа очень гармонично увязывается с возрастом взрослеющего человека, который пылливо осваивает внешний мир. Он активен в постижении жизни, идет по «следам» предыдущих поколений. Это время, когда человек уже освоил и присвоил необходимые культурные нормы, но еще не связан ответственностью, частной жизнью, когда он часто оказывается в ситуации, в которой необходимо определять себя, осваивать не только способы и инструменты действия, но и ставить собственные цели, опираясь только на внешнюю заданность и свое понимание предмета действия [4].

Первым и главным смыслом исследовательской работы является построение своеобразной ориентационной карты некоторого фрагмента действительности, в которой человек хочет действовать или которую хочет понять; вторым смыслом – личное самоопределение в этой карте действительности, определение места своего Я в открывшемся фрагменте действительного мира; третьим смыслом – построение собственного действия в поле этой действительности, выбор действия самореализации.

Первые два смысла – это накопление собственных ресурсов (когнитивного, нравственного, soft skills и др.) как причина и основания собственных действий. Третий смысл – это самодействие, субъективация самого себя. Именно в этом главное назначение освоения культуры исследовательской деятельности – просвещение, выявление и проявление своего Я.

Особенно следует отметить важность проведения заключительных этапов научных исследований – подготовку результатов выполненных проектов и презентацию результатов на заключительной конференции. Конференция – это основной тип общения среди ученых. Поэтому, если мы хотим воспитать молодое

поколение, которое действительно интересуется наукой, будет делать открытия уже в студенчестве, а может, и в школьном возрасте, нужно как можно раньше учить ребят выступать на конференциях. Очень важно, чтобы школьники чувствовали эту атмосферу, понимали, как происходит обмен новой информацией в научной среде, учились самостоятельно представлять материал. Особенно важно, если исследование проводится совместно с научным руководителем, но учащиеся самостоятельно готовят заключительную часть работы, представляют свои результаты перед учеными, докторами наук, отвечают на вопросы и объясняют ход проведенных исследований и суть полученных результатов. Первый научный опыт может серьезно повлиять на выбор профессии, поможет понять высокую значимость науки и профессии ученого.

При проведении профильных смен, включающих научно-исследовательскую компоненту, ВДЦ «Океан» широко использует партнерские ресурсы академических институтов ДВО РАН, Дальневосточного федерального университета, Владивостокского государственного университета, Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени О.С. Макарова, Морского государственного университета имени Г.И. Невельского, Детско-юношеского центра Приморского края, Штаба Тихоокеанского флота РФ, Приморского океанариума, Морской молодежной лиги, Общественной организации ветеранов «Боевое братство», Территориального центра «Медицина катастроф».

Важным и ценным ресурсом при организации научно-исследовательской деятельности на площадке ВДЦ «Океан» являются собственные рекреационные и природные возможности «Океана», научные и культурно-образовательные ресурсы Владивостока. Большая надежда возлагается на недавно созданный Эколого-биологический центр, который удачно расположен на берегу моря и прекрасно оснащен приборной базой.

Предложения по развитию научно-исследовательского направления

В настоящее время, с момента создания Эколого-биологического центра ВДЦ «Океан», значительно возрос научно-образовательный потенциал Центра. И многое, о чем мечталось, уже имеется. Но наука – это постоянное развитие, поэтому расширение спектра исследований и научно-материальной базы не должно стоять на месте. Прислушаемся к предложениям В.А. Ракова, известного ученого, эколога, популяризатора науки, который очень часто работал в ВДЦ «Океан» и мечтал о расцвете «образовательной науки для всех» (сейчас мы называем это «гражданской наукой») на базе Всероссийского детского центра:

«1. Центру «Океан», находящемуся на берегу океана, для начала просто необходимо хотя бы небольшой учебный парусник (крейсерская яхта) и маломерный флот (водолазный катер – ВРД, мотоботы, шлюпки) с нехитрым оборудованием и приборами для изучения океана (легководолазное снаряжение, лебедки, дночерпатели и др.). На этих судах старшеклассники могли бы проходить прекрасную практику всестороннего изучения океана в пределах хотя бы северной части Уссурийского залива.

2. Центру «Океан», находящемуся на берегу океана, можно было бы создать небольшую учебную плантацию марикультуры в пределах бухты, где расположен Центр. На этой плантации можно, с привлечением школьников, содержать и выращивать водоросли и многих морских животных для использования как в учебных целях, так и для дополнительного снабжения ценными и свежими морепродуктами.

3. Центру «Океан», находящемуся на берегу океана, просто необходима учебная аквариальная, где школьники могли бы в любое время и независимо от погодных условий, знакомиться с живыми морскими организмами, ухаживать за ними, изучать их, проводить простые наблюдения и эксперименты. Аквариальную желательно совместить с гидробиологической лабораторией, где школьники могли бы проводить простые биологические анализы (измерять, взвешивать, вскрывать животных, исследовать фито- и зоопланктон, бентосные пробы и др.).

4. Центру «Океан», находящемуся на берегу океана, просто необходим учебно-научный музей, где основное место должны занимать экспонаты представителей морской биоты Тихого океана – коллекции морских животных из различных групп, старинные и современные приборы для изучения океана, исторические реликвии из океана (якоря, винты, штурвалы знаменитых кораблей, судовые дневники, навигационные приборы и др.), образцы полезных ископаемых (газогидратов, конкреций и др.) и продуктов морского промысла, макеты судов, орудий рыболовства и многое другое. Таким музеем детский центр «Океан» мог бы гордиться, так как в других детских центрах России перспективы создания такого музея более призрачны.

Эти предложения можно довольно легко и быстро реализовать при условии привлечения ученых различных институтов ДВО РАН, а также вузов г. Владивостока. На первом этапе это не потребует крупных денежных вложений, так как детский центр уже имеет принадлежащие ему территорию на побережье и акваторию с освоенными площадями. Необходимы, для начала, эскизные проекты, которые могли быть созданы на основе техзаданий, подготовленных с помощью ученых, конкурса среди школьников и проектов студентов строительного факультета ДВФУ, спонсорской помощи Администрации края, соответствующих предприятий и организаций края, пожертвований частных лиц.

5. Научно-исследовательские занятия в Центре следует сделать регулярными, для этого ученым необходимо составить программу таких занятий вместе с педагогическим коллективом самого Центра» [5].

Свои пожелания В.А. Раков сформулировал более 10 лет назад и некоторые из его идей уже воплотились или воплощаются в жизнь в «Океане»! Имеется много интересных предложений по развитию ВДЦ «Океан» и от других ученых, специализирующихся по различным направлениям науки. Пришло время объединить эти пожелания в перспективную дорожную карту и приложить все усилия региональных и федеральных структур для усовершенствования научного потенциала Центра. Пора сделать ВДЦ «Океан» не просто детским оздоровительным лагерем, но и научным центром, современным молодежным центром самого высокого уровня, так как будущее страны зависит от развития наших детей и развития науки.

Заключение

Национальные проекты «Наука» и «Образование», призванные обеспечить глобальную конкурентоспособность российского образования, направлены на повышение качества общего образования. Деятельность ВДЦ «Океан» соответствует целям национальных проектов и позволяет создать на базе Центра инновационную среду, которая будет способствовать формированию у школьников, будущих ученых, специалистов нужных навыков и компетенций, отвечающих современным вызовам развития страны. В первую очередь, это компетенции, связанные с проектным мышлением, проектным управлением. Включение научно-

исследовательской деятельности в программы обучения помогает детям погрузиться в научный мир со школьной скамьи, сформировать ранний интерес к научной деятельности. Ученики, занимаясь научными исследованиями на «взрослом» уровне под руководством высококвалифицированных специалистов, докторов и кандидатов наук, получают уникальную возможность «войти в науку» со школьной скамьи, почувствовать вкус научных открытий, расширить горизонты собственного познания мира. Развитие тенденций пролонгированной практики участия ребят в научных проектах, даже после окончания профильных смен, позволит сохранить связи с талантливыми детьми, поддержать их интерес к науке, помочь в выборе профессии. Соединение возможностей природы, профессионализма педагогического коллектива ВДЦ «Океан», с включением когорты ученых, а также ресурсов партнерских программ, поможет обеспечить личностный рост юных исследователей, субъективацию себя и собственного мышления и, главное, позитивно-эмоциональное впечатление от пребывания в Центре, совмещающего летний отдых и увлекательную деятельность по исследованию окружающего мира. В результате это будет способствовать появлению нового поколения – любознательного, активного, ищущего, способного решать самые сложные задачи и проблемы, которые ставит перед нами жизнь.

***Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества № 18-2-011758 и 19-2-023124 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000147-6).*

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Крамар, А.Б. «Океан» уникальных возможностей / А.Б. Крамар, Е.В. Фёдорова // Народное образование. – 2018. – № 3–4 (1467). – С. 97–100.
2. Вшивкова, Т.С. Научно-общественный координационный центр «Живая вода»: природоохранная и эколого-образовательная деятельность (2003–2017 гг.) / Т.С. Вшивкова // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2017. – № 3 (28). – С. 17–26.
3. Международный детский симпозиум по проблемам экологии региона Северо-Восточной Азии. – 2006. – 51 с. – URL: <https://www.biosoil.ru/files/publications/00004821.pdf>
4. Попов, А.А. Понятие цели в практике открытого образования / А.А. Попова. – URL: <http://opencu.ru/page/ponjatie-celi-v-praktike-otkrytogo-obrazovanija>
5. Вшивкова, Т.С. Наука в «Океане» / Т.С. Вшивкова // Дальневосточный Учёный, 2010. – URL: <https://www.east-eco.com/node/3930>

Информация об авторах

Крамар Александр Борисович, руководитель Эколого-биологического центра, ВДЦ «Океан». E-mail: alexsmtw@ya.ru

Вшивкова Татьяна Сергеевна, Ph.D., старший научный сотрудник лаборатории пресноводной гидробиологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН; заведующая научной лабораторией экологического мониторинга, Международный институт окружающей среды и туризма, Владивостокский государственный университет; доцент Меж-

дународной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология», Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

Дроздов Константин Анатольевич, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования, Тихоокеанский институт биоорганической химии, ДВО РАН. E-mail: drovsh@yandex.ru

Section IV. DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT EDUCATION AND ENLIGHTENMENT

Chapter 28. SCIENCE IN THE "OCEAN": INTERACTION IN THE FIELD OF ADDITIONAL EDUCATION BETWEEN ACADEMIC INSTITUTIONS, UNIVERSITIES AND ARCC "OCEAN"

Alexandr B. Kramar¹, Tatyana S. Vshivkova^{2,3,4}, Konstantin A. Drozdov⁵

Abstract. *The article presents information about the integration of educational activities of the All-Russian Children Center "Ocean" with academic science. The unique features of the educational platform of the ARCC "Ocean" and the prospects for further development of additional education programs are considered. Examples of projects implemented by the ARCC "Ocean" in the field of ecology and environmental protection together with scientists of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences and universities of Primorsky Krai are given.*

Keywords: *additional education; integration of science and secondary school; children's science center.*

Information about authors

Alexandr B. Kramar, Head of the Eco-Biological Center of All-Russian Children Center "Ocean", ARCC "Ocean". E-mail: alexsmtw@ya.ru

Tatyana S. Vshivkova, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Freshwater Hydrobiology, Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; Associate Professor of the UNESCO International Chair "Marine Ecology", Institute of the World Ocean (School), Far Eastern Federal University (FEFU); Head of the Scientific Laboratory of the Environmental Monitoring, International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University. E-mail: vshivkova@biosoil.ru

Konstantin A. Drozdov, Ph.D., Scientific Researcher, Laboratory of physico-chemical research methods, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (PIBOC FEB RAS). E-mail: drovsh@yandex.ru

¹ Eco-Biological Center of the ARCC "Ocean", All-Russian Children Center "Ocean", 10 Artekovskaya Str., Vladivostok, 690108, Russia.

² Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159/1 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

³ International School for Environment and Tourism, Vladivostok State University, 41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014, Russia.

⁴ Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

⁵ G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 660022, Russia.

Раздел V. ООПТ И ЭКОТУРИЗМ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Глава 29. РАЗВИТИЕ СОТРУДНИЧЕСТВА НА БАЗЕ БИОСФЕРНЫХ РЕЗЕРВАТОВ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

В.В. Бардюк¹, Е.Г. Сомова¹

***Аннотация.** Приводится краткая история развития Всемирной сети биосферных резерватов, определена их роль в выполнении задач программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО. Отмечены особенности становления концепции биосферных резерватов и проблемы, с которыми сталкиваются отечественные заповедники при подтверждении биосферного статуса. Приведены подходы и примеры социально-экономического сотрудничества на базе биосферных резерватов юга Приморского края, показано видение их дальнейшего развития в связке с национальным парком «Земля леопарда».*

***Ключевые слова:** биосферный резерват; сохранение биоразнообразия; социально-экономическое сотрудничество; трансграничный резерват; заповедник «Кедровая падь»; Дальневосточный морской заповедник; национальный парк «Земля леопарда».*

Под управлением ФГБУ «Земля леопарда» находятся два биосферных резервата из семи, расположенных на Дальнем Востоке России; старейший государственный природный биосферный заповедник «Кедровая падь» и Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник.

Государственный природный биосферный заповедник «Кедровая падь» получил международное признание в 2004 г. как заповедник с относительно маленькой площадью (18 045 га) и высоким биологическим разнообразием. Здесь насчитывается 940 видов сосудистых растений, 283 вида пресноводных водорослей, 183 вида мхов, что в совокупности составляет почти половину всей флоры Приморья и не знает себе равных на всем Дальнем Востоке России [5]. В заповеднике обитает 45 видов млекопитающих [5], из которых 4 занесены в Международную Красную книгу (дальневосточный леопард, амурский тигр, гигантская бурозубка, пятнистый олень). Начиная с 2012 г. заповедник находится под управлением ФГБУ «Земля леопарда».

Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник получил статус биосферного резервата в 2003 г. Площадь заповедника составляет 64 316,3 га, из которых 98 % – морская акватория. Занимая всего 10 % площади акватории залива Петра Великого, данный биосферный резерват является эталоном экосистем северо-западной части Японского моря. Заповедник окружен охранной зоной шириной 5,5 км вокруг морских границ и 500 м – на

¹ ФГБУ «Земля леопарда», 690068, Россия, Приморский край, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 127.

побережье. В границах Дальневосточного морского заповедника отмечается высокое биологическое разнообразие: 316 видов рыб, более 450 видов ракообразных, 200 моллюсков, 300 кольчатых червей, 30 видов различных представителей иглокожих, около 170 видов водорослей и свыше 220 видов птиц, из которых около 80 видов включены в Международную и Российскую Красные книги [6]. Из морских млекопитающих на территории заповедника постоянно обитает один вид тюленя – ларга. С 2020 г. заповедник находится под управлением ФГБУ «Земля леопарда».

Оба биосферных резервата расположены на юго-западе Приморского края и непосредственно граничат с национальным парком «Земля леопарда». Единое управление и территориальное расположение открывает новые перспективы сотрудничества и гибкой интеграции биосферных резерватов в социально-экономическую структуру Приморского края.

Краткая история становления биосферных резерватов и их роль в выполнении задач программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО

Концепция биосферного резервата была разработана в 1974 г. рабочей группой программы «Человек и биосфера» ЮНЕСКО. Согласно данной концепции создание особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ) с биосферным статусом необходимо для поиска компромисса и апробации новых подходов к природопользованию, при которых сохраняется биологическое разнообразие и устойчиво развивается общество. Концепция «биосферности» была с воодушевлением принята и поддержана многими развитыми и развивающимися странами. В 1976 г. биосферный статус получают первые 59 особо охраняемых природных территории из 8 стран мира, а в 1981 г. количество биосферных резерватов увеличилось до 200 с представительством в 55 странах [8].

Положительная динамика создания биосферных резерватов на всех континентах побудила комитет программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО организовать в 1995 г. международную конференцию в Севилье (Испания). В рамках конференции был проанализирован 20-летний опыт работы биосферных резерватов и оценены вызовы, стоящие перед человечеством в XXI в. В работе конференции участвовало около 400 экспертов из 102 стран. Участники конференции высказывали идеи о том, что количество и биогеографическая репрезентативность биосферных резерватов позволяют объединить их во Всемирную сеть, что определит общий вектор управления ими и дальнейшее развитие биосферных резерватов в различных областях мира. На конференции также отмечалось, что для дальнейшего эффективного решения задач программы «Человек и биосфера» биосферным резерватам необходимо сместить акцент от выполнения преимущественно природоохранных задач к более широкому социально-экономическому сотрудничеству. В результате коллективной работы специалистов были подготовлены основополагающие документы, предопределившие дальнейшее развитие биосферных резерватов: положение о Всемирной сети биосферных резерватов (далее – Всемирной сети БР) и Севильская стратегия [2].

На современном этапе своего развития **биосферные резерваты** – территории наземных и прибрежных/морских экосистем или сочетания этих экосистем, выполняющие три взаимодополняющие функции:

сохранение – вклад в сохранение ландшафтов, экосистем, видов и генетического разнообразия данных видов;

развитие – содействие экономическому и социальному развитию, устойчивому в социально-культурном и экологическом отношениях;

научно-техническая поддержка – поддержка программ экологического образования и подготовки кадров в области окружающей среды, научных исследований и мониторинга, которые связаны с местными региональными, национальными и глобальными вопросами сохранения биологического разнообразия, стабильного состояния экосистем и устойчивого развития.

Для успешной реализации данных функций у каждого биосферного резервата территориально должны быть выделены следующие зоны:

зона ядра – территория, позволяющая сохранить биологическое разнообразие, вести наблюдение за наименее нарушенными экосистемами, проводить научные исследования;

буферная зона – территория, которая обычно располагается вокруг ядра (ядер) или примыкает к нему и используется для осуществления проектов в области экологического образования, досуга, экотуризма, а также прикладных и фундаментальных исследований;

зона сотрудничества – территория более гибкого управления, где могут находиться населенные пункты и проводиться сельскохозяйственные и другие виды деятельности. В пределах данной зоны местное население, администрация, научные учреждения, неправительственные организации и иные заинтересованные лица работают совместно в целях управления и устойчивого воспроизводства ресурсов данной территории.

Проблемы соответствия российских биосферных резерватов критериям Всемирной сети БР

Биосферные резерваты в нашей стране начали создаваться в 1977 г. на базе существующих заповедников – Кавказского, Приокско-Тerrasного и других. На сегодняшний день в России 37 особо охраняемых природных территорий с биосферным статусом [3].

Важно отметить, что концепция развития биосферных резерватов в нашей стране изначально была принята как идея Международной сети мониторинга со следующими функциями: охрана территории, научные исследования, регулярный сбор данных о состоянии среды и природных объектов [3, 4]. Данное представление расходится с современным пониманием роли биосферных резерватов в мире. Еще на Севильской конференции международное сообщество пришло к выводу о том, что в XXI в. биосферные резерваты не могут оставаться только островками нетронутой природы. Задачи биосферных резерватов шире и глобальнее. Опираясь на научную базу и знания об особенностях природных экосистем регионального уровня, биосферные резерваты должны принимать активное участие в разработке моделей/подходов поддержания биоразнообразия и социально-экономического развития общества на местном и региональном уровнях, демонстрировать опыт щадящего, компромиссного взаимодействия человека и природы.

Концепция «международной сети мониторинга» долгие годы была преобладающей в нашей стране, поэтому отечественные биосферные резерваты, регулярно сталкиваются с проблемой подтверждения престижного биосферного статуса [4]. Согласно положению о Всемирной сети БР каждый резерват один раз в 10 лет предоставляет в секретариат ЮНЕСКО отчет и подтверждающие доку-

менты о результатах работы биосферного резервата по трем возложенным на него функциям – *сохранение, развитие, научно-техническая поддержка*. Авторы данной главы имели опыт подготовки таких документов для государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и, как и многие коллеги, столкнулись с рядом трудностей. Легче всего заполняются формы по функциям *сохранения и научно-технической поддержки*, так как отечественные заповедники ежегодно формируют Летописи природы, ведут сбор многолетних рядов данных (так, например, в заповеднике «Кедровая падь» уже более 40 лет ведется учет фенологических фаз развития растений) и по праву гордятся степенью сохранности природных объектов. Сложнее всего заполнять формы по критериям *социально-экономического развития и сотрудничества*. В связи с чем отечественным биосферным заповедникам необходимо уже сейчас закреплять территориальное зонирование и выстраивать долгосрочное социально-экономическое сотрудничество на местном и региональном уровнях. В последние годы ФГБУ «Земля леопарда» усилило работу биосферных резерватов в данном направлении.

Развитие сотрудничества на базе биосферных резерватов

В социально-экономической структуре Приморского края Хасанский район – территория, специализирующаяся на развитии туристско-рекреационной отрасли. Благоприятные природно-климатические условия, контрастное соседство живописных морских побережий и эндемичных хвойно-широколиственных лесов, высокое разнообразие культурно-исторических и природных достопримечательностей наряду с относительно развитым дорожно-транспортным сообщением побуждают десятки тысяч жителей со всего Дальнего Востока проводить отпуск или выходные именно здесь. При этом на территории Хасанского района расположены три федеральные особо охраняемые природные территории, две из которых являются биосферными заповедниками, что, в свою очередь, требует более гибких подходов к их интеграции в экономику региона.

В соответствии с концепцией «биосферности» *ядром* заповедника «Кедровая падь» является весь заповедник. Здесь проводятся научные исследования; пропуск на территорию строго регламентирован. *Буферной зоной* по факту служит национальный парк «Земля леопарда», где в большей степени реализуются программы экотуризма и экопросвещения. В настоящее время ведется работа по присоединению к заповеднику «Кедровая падь» охранной зоны на юге, что также будет являться его буферной зоной. *Зоной сотрудничества* являются территории, расположенные в границах населенных пунктов и рядом с ними. Например, Кравцовские водопады, где обустроена экотропа, маршрут «Тропой леопарда» в с. Барабаш (рис. 29.1).

Природоохранный подход ФГБУ «Земля леопарда» в отношении туризма – минимизация возможного негативного воздействия туристско-рекреационной деятельности посредством регламентации допустимых рекреационных нагрузок на природные комплексы в границах особо охраняемых природных территорий, внедрение элементов поддерживающей инфраструктуры (деревянных настилов, видовых площадок), перераспределение потока туристов с территорий ООПТ в *зону сотрудничества*.

В отношении Дальневосточного морского заповедника *ядром* является наименее нарушенная акватория вокруг островов Восточного и Южного участков и сами эти острова. *Буферной зоной* служит Северный участок на острове Попова,

где расположены центр экологического просвещения, музей «Природа моря и его охрана», а также национальный парк «Земля леопарда». *Зона сотрудничества* в настоящее время формируется и включает участки в пределах охранной зоны заповедника: охранный зона на о. Попова, где расположены турбазы, сельскохозяйственная деятельность в охранной зоне Южного участка, а также туристический кластер «Гамовский» (см. рис. 29.1). Летом 2022 г. в охранной зоне б. Астафьева была апробирована модель нормируемого досуга и купания.

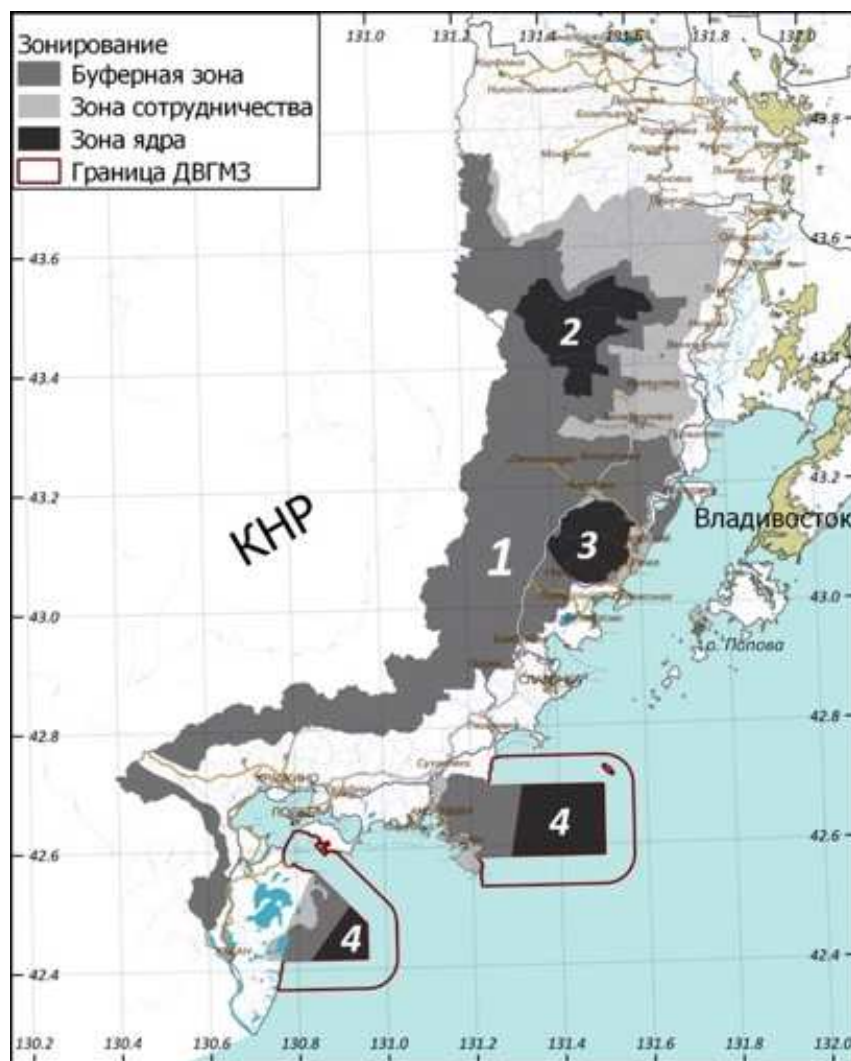


Рис. 29.1. Предлагаемое зонирование для биосферных резерватов юга Приморского края: 1 – национальный парк «Земля леопарда»; 2 – заповедная зона национального парка «Земля леопарда»; 3 – заповедник «Кедровая падь»; 4 – зоны ядра Дальневосточного морского заповедника (ДВГМЗ)

Таким образом, в соответствии с задачей II Севильской стратегии и Лимским планом действий на 2016–2025 гг. биосферные резерваты юга Приморского края гибко вовлечены в проекты регионального планирования [1]. Губернатором Приморского края утверждена дорожная карта по развитию туристско-рек-

реакционного экологического кластера «Земля леопарда» (далее – ТРЭК «Земля леопарда») с вовлечением биосферных резерватов юга Приморья. ТРЭК «Земля леопарда» разработан Инвестиционным агентством Приморского края совместно с региональным Правительством, сотрудниками ФГБУ «Земля леопарда», представителями бизнес-сообщества и жителями Хасанского района. Проект предусматривает комплексное развитие территории Хасанского муниципального района, где находятся национальный парк «Земля леопарда», заповедник «Кедровая падь», Дальневосточный морской заповедник, природный парк «Хасанский» и лечебно-оздоровительная местность «Ясное». Основная задача проекта – создание на юго-западе Приморья условий для развития экологического туризма: обустройство популярных природных и историко-культурных объектов, снижение рекреационной нагрузки на них за счет перераспределения туристических потоков, выработки общих подходов и правил организации экотуризма не только в границах ООПТ, но и на прилегающих к ним территориях. Проект ТРЭК «Земля леопарда» вошел в число победителей Всероссийского конкурса на создание туристско-рекреационных кластеров и развитие экотуризма в рамках решения задач Национального проекта «Экология 2018–2024» и «Стратегии развития туризма в Российской Федерации до 2035 года» [9, 10].

Еще одно направление развития биосферных резерватов – создание трансграничных резерватов. Данное направление отражено в задаче I Севильской стратегии – «поощрять создание трансграничных резерватов в качестве средств сохранения живых организмов, экосистем и генетического разнообразия, которые выходят за рамки национальных границ». В целях обеспечения безопасных миграций и расширения ареала дальневосточного леопарда и амурского тигра в настоящее время ведется работа по созданию трансграничного резервата «Земля больших кошек» совместно с Китайской Народной Республикой.

В целях реализации задачи III Севильской стратегии – «использование биосферных резерватов для проведения научных исследований, мониторинга, образования и профессиональной подготовки» заключены соглашения о сотрудничестве с семью научными и четырьмя образовательными учреждениями. Продолжаются многолетние мониторинговые исследования ученых академии наук ДВО РАН на территориях и акваториях биосферных резерватов, как, например, уже ставшие традиционными исследования состояния популяции пятнистого тюленя (ларги) и колоний редких птиц на о. Фуругельма. Между тем ФГБУ «Земля леопарда» заинтересовано и в поиске новых партнеров. В 2022 г. было подписано соглашение с Институтом Мирового океана ДВФУ и совместно со специалистами международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» разработана комплексная программа экологического мониторинга приграничных бухт Дальневосточного морского заповедника.

Заключение

Многие годы спецификой российских биосферных резерватов была концепция их развития как «международной сети мониторинга». За это время отечественными биосферными резерватами были накоплены уникальные данные о состоянии региональных экосистем, о динамике природных процессов, проведена инвентаризация флоры и фауны.

Биосферный заповедник «Кедровая падь» является домом как минимум для двух резидентных особей дальневосточного леопарда и одного амурского тигра.

В связке с национальным парком «Земля леопарда» заповедник «Кедровая падь» является площадкой регулярного фотомониторинга популяций крупных диких кошек. Благодаря эффективным природоохранным мерам численность дальневосточного леопарда за 10 лет увеличилась в три раза и в 2021 г. зарегистрирована 121 взрослая особь. В течение последних лет национальный парк «Земля леопарда» является территорией с максимальной плотностью амурского тигра в России. В сентябре 2022 г. учреждение стало обладателем международного сертификата CA/TIS, подтвердив высокие стандарты управления территорией, обеспечивающие успешное сохранение тигра [7].

За время существования Дальневосточного морского биосферного заповедника удалось сохранить особо ценные виды морских гидробионтов: дальневосточный трепанг, приморский гребешок, камчатский краб, гигантский осьминог. В 2019 г. в водах заповедника были зарегистрированы три новых для России вида субтропических рыб – изменчивая саблезубая морская собачка, желтохвостая барракуда и зеркальный солнечник. Увеличилась численность редких морских птиц. Например, в 2005 г. отмечалось наличие всего одного-двух гнезд малой колпицы (Международная Красная книга), а в 2021 г. зарегистрировано гнездование уже 19 пар [6].

Вклад биосферных резерватов юга Приморского края в сохранение биоразнообразия как региона, так и мира в целом неоспорим. Для дальнейшей успешной работы в рамках Всемирной сети БР биосферным заповедникам необходимо, опираясь на уже накопленные знания и имеющиеся данные о функционировании региональных природных экосистем, формировать зоны сотрудничества, активнее подключаться к апробации механизмов устойчивого взаимодействия общества и природы, принимать участие в создании охранных зон и трансграничных резерватов, что согласуется с современной стратегией развития биосферных резерватов программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Лимский план действий для программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО и ее Всемирной сети биосферных резерватов на 2016–2025 гг. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234624_rus.
2. Севильская стратегия для биосферных резерватов. – URL: <https://wwf.ru/resources/publications/booklets/sevilskaya-strategiya-dlya-biosfernykh-rezervatov/>
3. Степаницкий, В.Б. Биосферные резерваты ЮНЕСКО в России на современном этапе: международный подход и отечественная специфика / В.Б. Степаницкий // Доклад на Всероссийском совещании по биосферным резерватам (Сочи, 14 декабря 2015 г.). – URL: <http://zapovednik-chernyezemli.ru>
4. Шуйская, Е.А. Российские биосферные резерваты на молодежном форуме МАБ-2017 в Италии / Е.А. Шуйская, А.В. Завадская, А.Ю. Шарапонова [и др.] // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2018. – № 3 (1). – С. 103–110.
5. Летописи природы заповедника «Кедровая падь»: [сайт]. – Владивосток, 2022. – URL: <https://www.leopard-land.ru/ourwork/monitoring>.
6. Государственный кадастр объектов животного мира Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника / сост. М.В. Сырица. – Владивосток, 2022. – 48 с.
7. Земля леопарда: [сайт]. – URL: <https://leopard-land.ru/>.

8. Всемирная сеть биосферных резерватов: [сайт]. – URL: <https://en.unesco.org/biosphere/wnbr>.

9. Стратегия развития туризма в Российской Федерации до 2035 года (Распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2019 года № 2129-р) // Электронный фонд правовых и научно-технических документов: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/561260503>

10. Паспорт Национального проекта «Экология 2018–2024» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [сайт]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/

Информация об авторах

Бардюк Виктор Владимирович, директор, ФГБУ «Земля леопарда». E-mail: director@leopard-land.ru

Сомова Евгения Геннадьевна, старший научный сотрудник отдела науки и экологического мониторинга, ФГБУ «Земля леопарда». E-mail: somova@leopard-land.ru

Section V. PROTECTED AREAS AND ECOTOURISM: PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Chapter 29. COOPERATION DEVELOPMENT BASED ON BIOSPHERE RESERVES IN SOUTHERN PRIMORYE

Victor V. Bardyuk¹, Evgeniya G. Somova¹

Abstract. *The chapter provides a brief overview of the development of the World Biosphere Reserves Network and their role in implementing the objectives of the UNESCO "Man and the Biosphere" program. The authors outline the features of the biosphere reserves concept formation and the issues that national reserves face to confirm biosphere status. The authors also describe approaches and examples of socio-economic cooperation within biosphere reserves in the south of Primorsky krai and the vision of their further development in conjunction with "The Land of the Leopard" national park.*

Keywords: *biosphere reserve; biodiversity conservation; socio-economic cooperation; trans-boundary reserve; Kedrovaya Pad' Reserve; Far Eastern Marine Reserve; Leopard Land National Park.*

Information about authors

Victor V. Bardyuk, Director, Federal State Budgetary Institution «Land of the Leopard», E-mail: director@leopard-land.ru

Evgeniya G. Somova, Senior Researcher of the Department of science and environmental monitoring, Federal State Budgetary Institution «Land of the Leopard», E-mail: somova@leopard-land.ru

¹ Federal State Budgetary Institution «Land of the Leopard», 127 100-letiya Vladivostoka ave., Vladivostok, 690068, Russia.

Глава 30. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И СОХРАНЕНИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Ю.И. Берсенов¹

***Аннотация.** Рассмотрены проблемы особо охраняемых природных территорий Приморского края. Показано, что мероприятия по сохранению природной среды должны носить системный характер, с неукоснительным соблюдением законодательства Российской Федерации, с координацией различных ведомств и на разных уровнях.*

***Ключевые слова:** особо охраняемые природные территории; заповедник; национальный парк; заказник; памятник природы; хозяйственная деятельность; сохранение природной среды.*

Расположение Приморского края на стыке крупнейшего материка планеты с крупнейшим океаном, на середине расстояния между экватором и полюсом, в регионе, где в максимальной степени проявляются малейшие глобальные изменения климата, обусловило формирование уникальных и нередко крайне сложных природных комплексов. На его территории стыкуются несколько биогеографических районов Азии. Особенностью этих уникальных природных комплексов наряду с высоким биоразнообразием является слабая степень устойчивости к прямым и опосредованным антропогенным воздействиям. Можно утверждать, что биоразнообразие Сихотэ-Алиня имеет глобальное значение и требует соответствующих усилий по сохранению природного наследия. Для этого в Приморском крае усилиями ученых и энтузиастов-экологов за 100 лет создана самая развитая в России система особо охраняемых природных территорий (ООПТ), состоящая из 6 государственных заповедников, 4 национальных парков, природного парка, 11 заказников и около 200 памятников природы. Правильное функционирование ООПТ требует определенных финансовых затрат и ограничений ряда видов хозяйственной деятельности. Соответственно, государство принимает значительные усилия для поддержания экологического баланса на данной территории.

Если говорить о системе ООПТ *федерального* значения, то ее создание в Приморском крае завершено. Нельзя не обратить внимание на реформирование структуры ее управления, коренным образом влияющее на эффективность. Мы хорошо помним, что укрупнение колхозов и создание на их основе совхозов привели к угасанию многих деревень и сел, где до этого были вполне успешные небольшие колхозы. Нечто подобное наблюдается и в ООПТ. У каждого заповедника или национального парка была собственная дирекция. Она отвечала за сравнительно небольшую территорию, ее охрану, развитие инфраструктуры и т.д. На эту деятельность выделялось конкретное финансирование. Реформа структуры управления ООПТ происходит по всей стране. Более того, это главная задача, которую поставил нынешний министр природных ресурсов и экологического

¹ Приморское краевое отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» – Общество изучения Амурского края, 690091, Приморский край, г. Владивосток, ул. Петра Великого, 4.

гии перед новым руководством департамента, отвечающего за ООПТ федерального значения.

Например, создана «Объединенная дирекция заповедников Таймыра». Она включает Путоранский, Большой Арктический и Таймырский заповедники общей площадью 7,8 млн га, 2 заказника и 2 территории историко-культурного наследия. Всего площадь ООПТ под управлением этой дирекции – 11,9 млн га. Это больше Волгоградской области. И в структуре этой дирекции, судя по ее сайту, нет подразделений, которые отвечают за конкретную ООПТ. Следует особо отметить, что Таймырский заповедник создан в 1979 г., а Путоранский в 1988 г., т.е. до реформы управления они работали десятилетиями. В результате слияния дирекций нескольких ООПТ неминуемо появляются фавориты и аутсайдеры, тем более что у каждой ООПТ есть свои особые условия, а у руководства свои приоритеты. Дирекция ФГБУ «Заповедное Приамурье», объединяющая 3 государственных природных заповедника, 2 национальных парка и 4 заказника федерального значения в Хабаровском крае, пошла по пути сохранения структур управления каждой из ООПТ, имевшихся на момент слияния. Поэтому там негативных явлений заметно меньше. Вместе с тем, например, если бы национальный парк «Шантарские острова» был самостоятельным ФГБУ, его развитие наверняка было бы более интенсивным. Так, структуры управления у этой ООПТ на момент создания объединенной дирекции (2014) не было.

Объединенная дирекция Лазовского заповедника и национального парка «Зов тигра» полностью ликвидировала структуру управления парком. В результате созданная до слияния дирекций инфраструктура ветшает, а новая не строится. О масштабах браконьерства и пожарах в этом национальном парке после слияния дирекций можно читать даже в региональных газетах [11], что наносит большой ущерб имиджу ООПТ края в целом.

Никто не отрицает успехов национального парка «Земля леопарда». Но как-то не слышно об аналогичных достижениях Дальневосточного морского биосферного и Уссурийского заповедников, находящихся под управлением ФГБУ «Земля леопарда». О биосферном заповеднике «Кедровая Падь» слышно лишь, когда на его территории происходит очередной пожар. Когда заповедники были под управлением Дальневосточного отделения РАН, они успешно функционировали, что было видно по имевшимся у них сайтам. Да и статус «биосферный» у двух из них говорит сам за себя. Складывается впечатление, что сейчас они финансируются по остаточному принципу, т.е. работает в основном лишь служба охраны их территорий и акваторий. И в значительно большем объеме, чем раньше, используется экскурсионный потенциал заповедников. Завершая тему ООПТ федерального значения, можно добавить, что в Госдуме РФ постоянно вносятся проекты поправок в законодательство, разрешающие тот или иной вид хозяйственной деятельности на этих территориях, которым противостоит в основном экологическая общественность. Поэтому нет полной уверенности в том, что в будущем система ООПТ федерального значения сохранится в неизменном виде.

Существующая система ООПТ *регионального* значения постоянно испытывает пресс реформирования, нередко подразумевающий ликвидацию или пересмотр границ отдельных ООПТ. Этот пресс начался сразу после распада СССР и продолжается до настоящего времени. Примеров здесь много. В 1956 г. был организован комплексный заказник Островной, который включал острова залива Петра Великого: Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда; Аскольд, Сибирякова,

Антипенко, Стенина (решение крайисполкома № 152 от 02.03.1956 г., площадь – 9,4 тыс. га). В 1967 г. без ограничения срока действия был создан комплексный заказник Владивостокский (пригородный лесопарк), который занимал всю зеленую зону г. Владивостока – полуострова Муравьева-Амурского [8, 2]. Статус этих территорий, согласно Экологической программе [10], планировалось повысить до национального парка. Без принятия каких-либо актов государственной власти и рассмотрения целесообразности ликвидации ни одна официальная структура не включает данные заказники в состав действующих ООПТ. Естественно, их территория никак особо не охраняется. Не вызывает сомнения тот факт, что их существование позволило бы лучше обеспечить порядок природопользования и не допустило бы стихийное замусоривание мест отдыха. В 1997 г. не был продлен срок действия Ханкайского зоологического заказника, площадь которого не входила в одноименный заповедник. Его ликвидация прошла без рассмотрения целесообразности, несмотря на наличие 4 международных конвенций, касающихся оз. Ханка и рекомендаций по расширению площади Ханкайского заповедника, изложенных в утвержденной на высшем краевом уровне Экологической программе [10], также имевшей статус предпланового документа, и других документах [6, 9]. Это прямое нарушение действовавшего в то время приказа Минприроды от 16.01.1996 г. № 20, где сказано, что «ликвидация ООПТ производится в том же порядке, что и их образование». Соответственно, ликвидация заказников Островного, Владивостокского и Ханкайского не легитимна.

В Приморском крае в целях обеспечения охраны наиболее ценных мест произрастания женьшеня решением Приморского Крайисполкома от 20.02.1981 г. № 174 были созданы два ботанических заказника: «Анучинского лесхоза» (площадь – 1305 га) и «Партизанского лесхоза» (площадь – 2437 га). Они были ликвидированы не продлением срока действия. В настоящее время в Приморском крае отсутствуют ООПТ, ориентированные на сохранение популяций дикорастущего женьшеня.

Стоит добавить, что заказники регионального значения создавались и в последние годы. Например, в 2012 г. – Среднеуссурийский (72,7 тыс. га), в 2019 г. – Комиссаровский (82,5 тыс. га). Они созданы у государственной границы, при этом значительная часть территории Среднеуссурийского и вся площадь Комиссаровского заказника располагаются за системой инженерно-технических пограничных сооружений. Соответственно, режим использования этих территорий практически не изменился. Заказники создавались прежде всего в политических целях, так как на смежной территории КНР созданы природоохранные резерваты (заповедники) и указанные заказники играют роль экологических коридоров.

Действующее законодательство (№ 33 ФЗ) вообще не предусматривает ликвидацию ООПТ. Это не позволило ликвидировать природный парк «Хасанский», хотя попытка предпринималась в 2004 г. (постановление Губернатора Приморского края от 02.10.2004 № 288). Но парк как учреждение был ликвидирован, что является прямым нарушением указанного закона. Поэтому существующий режим особой охраны его территории не соответствует цели создания природного парка – обеспечение выполнения Россией взятых обязательств по охране мигрирующих птиц. Хасанский природный парк расположен в самой южной части Российского Дальнего Востока и включает часть территории водно-болотных угодий дельты реки Туманной, по которой проходит государственная граница с КНР и КНДР. Эта территория играет ключевую роль как место отдыха на международном миграционном пути перелетных птиц и подпадает под действие Глобальной Рамсарской конвенции «О водно-болотных угодьях,

имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц» и трех двухсторонних конвенций «Об охране перелетных птиц и птиц, находящихся под угрозой исчезновения, а также среды их обитания» (Российско-Корейской, Российско-Японской и Российско-Северо-Корейской). На территории упраздненного парка гнездится около 100 видов птиц. Среди обитающих здесь птиц 20 видов занесены в Красную книгу России и 7 видов – в международную Красную книгу. Поэтому изначально планировалось создание не природного, а национального парка. К сожалению, в ходе согласования границ парка его территория была сильно (на 78,5%) урезана относительно первоначально обоснованных границ [10]. Режим на большей части ООПТ весьма мягкий и допускает охоту. Тем не менее охотники всячески пытаются игнорировать природный парк и лоббировать его ликвидацию. Дважды территория парка полностью выгорала; последний раз 7–9 января 2021 г. Частичное выгорание территории происходит ежегодно. К настоящему времени сложилась ситуация, когда Россия уже не может в полной мере выполнять взятые на себя международные обязательства по указанным конвенциям. Это обусловлено передачей земельных участков, примыкающих к водным объектам, в собственность и долгосрочную аренду (отчетливо видно на Кадастровой карте, имеющейся в свободном доступе). Соответственно, ситуация требует принятия незамедлительных мер.

Все утвержденные памятники природы на территории Приморского края имеют статус регионального значения, вместе с тем 9 из них было рекомендовано придать статус федерального значения [10]. Кадастр памятников природы опубликован на официальном сайте Администрации Приморского края. В нем указано 206 памятников природы, причем не исключены и те, что располагаются в пределах заповедников. Постановлением Администрации Приморского края от 17.04.2009 № 103-п ликвидирован памятник природы регионального значения «Парк культуры и отдыха угольщиков в г. Партизанск». Остается не понятным, почему этим же Постановлением не упразднены памятники природы, оказавшиеся в границах государственных природных заповедников после их расширения (Минеральные источники Юпитер и Малый Южный, Озеро Заря и др.). Законодательством не предусмотрено нахождение памятников природы регионального значения в границах заповедников [21]. Вероятно, также следует рассмотреть вопрос об упразднении памятников природы, располагающихся в границах национальных парков на землях лесного фонда, переданных с изъятием соответствующим федеральным ООПТ (пещера Богатая Фанза и др.). Получается ситуация, когда в границах большой по площади ООПТ, режим особой охраны которой осуществляет дирекция федерального учреждения, располагается небольшая ООПТ более низкой категории, режим особой охраны которой номинально обеспечивает региональная дирекция ООПТ, не имеющая на территории национального парка каких-либо полномочий (в соответствии с законодательством [21]).

С некоторыми памятниками природы ситуация сложная. В Лазовском районе провели рубку на территории памятника природы «Тисовая роща» (в официальном кадастре значится как «Тисовый»). Он создан решением Крайисполкома от 29.12.1989 № 452. Охраняющей организацией был Лазовский лесхоз, т.е. при отводе лесосеки лесники знали о статусе участка. На Генплане района этот памятник природы уже не показали. Но решений о его ликвидации нет. В Советском районе г. Владивостока решением Крайисполкома от 14.08.1987 № 551 утвержден памятник природы «Популяция чистостовника Клейтона». Памятник

природы создавался для сохранения этого реликтового вида папоротника, включенного в Красную книгу СССР и России [14]. Решением Крайисполкома установлено: «с охранной зоной 50 м вокруг зарослей...». Площадь всей популяции составляла около 140 м² [22] и оставалась на протяжении многих лет постоянной. Таким образом, площадь памятника природы – 0,97 га. Но территорию этого памятника природы передали под коттеджную застройку и овраг, где данный реликтовый вид произрастал, засыпали. К счастью, неподалеку выявили еще одно место произрастания; его взяли под охрану в статусе памятника природы вместо утраченного. В 2020 г. СМИ сообщали, что часть памятника природы «Посадки кедра корейского» (утвержден решением Крайисполкома от 14.08.1987 № 551), расположенного вблизи бух. Лазурная, передали под коттеджную застройку [12]. На протяжении нескольких лет общественность, прежде всего общественная организация «Хранители закона», с трудом сдерживает попытку ликвидации или изменения границ и режима памятника природы «Лиман реки Раздольная». Этот перечень можно продолжить. Следует подчеркнуть, что в последние годы количество попыток ликвидации или захвата участков, занимаемых памятниками природы, значительно возросло.

В 1926 г. благодаря усилиям Общества изучения Амурского края решением Окрисполкома были созданы три «народных заповедника». Один из них охранял птичий базар на острове Карамзина [16]. Его никто не ликвидировал и не реорганизовывал, как, например, заповедник на полуострове Песчаный. Но этого заповедника нет. На о. Карамзина гнездится до 150 пар птиц пестроголового буревестника В Красной книге Приморского края [13] указано: «При такой низкой численности птиц любая случайность может вызвать гибель колонии и исчезновение вида в России». Острова Карамзина и Верховского – единственное в России место гнездования занесенной в международную Красную книгу (МСОП) и Красную книгу России малой качурки [15]. Если в 1985 г. насчитывалось 7,5 тысяч пар этих птиц, то в последние годы не более ста пар [7]. В 1984 г. о. Карамзина получил статус памятника природы (решение Крайисполкома от 20.01.1984 г. № 24). Но птиц никто не охраняет, а в Интернете много объявлений об экскурсиях с посещением этого уникального острова. В 2016 г. Администрацией Приморского края выдано охранное обязательство на этот памятник организации, далекой от охраны природы, с указанием, что нельзя ограничивать доступ на остров туристам и отдыхающим. Это может в скором времени привести, а может быть, уже привело, к исчезновению в России единственных мест гнездования пестроголового буревестника и малой качурки. Но слышал ли кто-нибудь из лиц, принимавших это решение, о существовании этих видов? Сто лет назад, в весьма непростое для государства время, органы власти заботились больше об их сохранении, чем в наше время.

Органы власти и туристические фирмы зачастую ставят знак равенства: памятник природы = туристский объект. Вместе с тем большинство утвержденных памятников природы создавалось именно для недопущения или снижения рекреационного пресса. Некоторые памятники природы обеспечивают сохранение мест обитания или произрастания видов, занесенных в Красную книгу. Практически в каждом решении Крайисполкома о создании памятников природы записано: «Запретить всякую хозяйственную деятельность на этих территориях. Использование государственных памятников природы в научных, культурно-просветительных, оздоровительных и эстетических целях проводить строго в соответствии с режимом, указанным в охранном свидетельстве». Многие бота-

нические памятники природы если и можно показывать, то лишь узкому кругу специалистов. Это обусловлено как редкостью произрастающих растений, так и необходимостью обустройства мест показа (устройство деревянных настилов и дорожек), чтобы не превысить предельно допустимую нагрузку на место произрастания. Действующее законодательство [21] запрещает всякую деятельность, влекущую за собой нарушение сохранности памятников природы. Большинство из них создавалось для сохранения объектов и недопущения их деградации, в том числе от неконтролируемого посещения. Следовательно, памятники природы существенно различаются по возможности, законности и целесообразности их использования в качестве туристско-экскурсионных объектов – только ограниченный круг памятников природы можно использовать в этом качестве. На протяжении многих лет ставится вопрос о необходимости принятия нормативного документа, определяющего, какие памятники природы нельзя использовать в качестве туристско-экскурсионных объектов, а какие памятники и при каких условиях могут быть использованы в этом качестве; также ставится вопрос о порядке их использования [3]. Некоторые памятники природы, из тех, что не утратят свою значимость от туристско-рекреационного воздействия, можно использовать в туристских целях без обустройства или с минимальным обустройством мест показа. К таковым относятся водопады, озера, горы, некоторые скалы и останцы, например: «Скала Шапка Мономаха» и «Скалы Маяк Бенеvский» (Лазовский район). Показ многих памятников природы требует их обустройства в целях обеспечения безопасности. Например, глыбы, лежащие в большинстве пещер, красноречиво указывают на потенциальную опасность вывалов и обрушений свода.

Большинство крупных пещер Приморского края защищены статусом памятника природы. В них запрещена туристско-экскурсионная деятельность. Запрет обусловлен невозможностью и невозобновляемостью пещер, а также их натеchnого убранства – они формировались на протяжении сотен тысяч лет. Но этот запрет никак не влияет на поток экскурсантов – на сайтах турфирм много предложений посещения пещер. Скорость роста пещерных натеков (например, сталактитов) составляет всего 0,001–0,1 мм в год [1]. Между тем туристы любят отламывать натеки на сувениры. Эксплуатация пещер в экскурсионных целях возможна лишь после соответствующего их благоустройства. В настоящее время в крае нет благоустроенных пещер, хотя в 1970-х – начале 1980-х гг. были благоустроены и успешно использовались в качестве экскурсионных объектов пещеры им. Географического Общества и Пржевальского [5]. Неоправданное использование пещеры Спящая Красавица привело к ее деградации и гибели троглобионтной фауны. Самая красивая до середины 90-х гг. XX в. пещера Дальнего Востока – Мокрушинская всего за несколько лет превратилась в грязное, черное от копоти подземелье. Это результат безграмотного экскурсионного использования с применением для освещения факелов. Можно утверждать, что эта пещера на многие столетия потеряла свою былую привлекательность. Знаменательно, что администрация Приморского края в 2005 г. выделила деньги на благоустройство пещеры: были проложены дорожки, установлены леерные ограждения опасных участков, лестницы и т.д. Но предложения по рациональному использованию этого памятника природы были отвергнуты.

Еще одна проблема – выделение дальневосточного гектара на землях ООПТ. На публичной кадастровой карте видно, что на территориях некоторых памятников природы располагаются базы отдыха.

Все памятники природы Приморского края созданы в период с 1974 по 1991 г., т.е. за последние десятилетия ни одного памятника природы не создано. При этом другие категории ООПТ развивались. Имеется настоятельная необходимость создания нескольких небольших по площади ООПТ, вероятно, в статусе памятников природы. Места и назначение этих проектируемых ООПТ определены и описаны [4].

Ценность территорий, мало затронутых хозяйственной деятельностью, с каждым десятилетием все возрастает. В странах Азии вблизи Приморского края участки с нетрансформированными ландшафтами уже наперечет. В большинстве стран они носят название «дикая природа» – «wilderness». Нет сомнения, что в ближайшем будущем основным туристским потенциалом в Приморье будет служить показ именно таких ландшафтов. Но мы их не сохраняем. Они по-прежнему подвергаются вырубке. В 1989 г. Экологической программой Приморского края обосновано создание Южно-приморского природного парка для сохранения и рационального туристского использования хребтов Ливадийский (Пидан), Лозовый (Чандолаз) и Екатерининского массива [4]. За последующие 30 лет было разработано эколого-экономическое обоснование создания этого парка и получены многочисленные согласования. Но данный вопрос никак не решается. При этом территории проектируемого парка деградируют от нерегулируемого использования и на них бессистемно выделяются земельные участки.

В 90-х гг. XX в. в Приморском крае была разработана и принята на законодательном уровне нормативная база земель рекреационного назначения. Они выделены и утверждены в большинстве районов края. После смены губернаторов земли рекреационного назначения были ликвидированы как категория земель; к настоящему времени они в основном утратили свой рекреационный потенциал.

Необходимо учитывать, что с муниципального уровня многие проблемы глобального масштаба просто не видны, а на региональном уровне решение задач природопользования часто осуществляется без учета экологических факторов. Одной из черт современного этапа природопользования является несоответствие отдельных решений, принимаемых на региональном уровне, постановлениям и решениям органов государственной власти, даже федерального значения, принятых в недалеком прошлом. Иначе как можно объяснить, что вокруг некоторых национальных парков отсутствуют охранные зоны (обязательное установление которых определено федеральным законодательством [21]), что «остались на бумаге» многие пункты Стратегии сохранения биоразнообразия Сихотэ-Алиня [18], что многие пункты Плана действий на период до 2020 г. по реализации первоочередных мер по сохранению амурского тигра, определенных Стратегией сохранения амурского тигра в Российской Федерации [19], не выполнены. Например, не выполнены п. 2.3.2 и 7.1 указанного Плана действий. В результате при утверждении лимитов добычи охотничьих видов животных не учитывается необходимость поддержания стабильной численности кормовых объектов амурского тигра. В 2021 г. численность кабана (одного из главных пищевых объектов тигра) была весьма низкой из-за азиатской чумы свиней. Как хорошо известно, недостаток пищи привел в зимний период 2021–2022 гг. к резкому увеличению «конфликтных» тигров по всему основному ареалу.

Выполнение задач сохранения биоразнообразия зачастую должно начинаться на самом низком уровне – муниципальном. Без создания рабочих мест в удаленных таежных поселках, без ликвидации безработицы не решить проблемы браконьерства, в том числе не пресечь заготовку женьшеня на заповедных тер-

риториях. Без учета потребностей тигра в потенциальных жертвах при выделении квот на отстрел копытных никак не решить задачу увеличения численности тигра и т.д. Без экологического образования не решить проблему браконьерства со стороны представителей «элиты».

Принятые запреты на рубку дуба монгольского для обеспечения дровами населения (2019) при полномасштабных рубках этой породы для коммерческих нужд, вероятно, должны рассматриваться как временная мера. Увеличивать кормовую базу копытных, безусловно, необходимо. Но на первом месте должны быть не запретительные меры, а лесопосадки кедра и дуба, действенные меры предотвращения и тушения лесных пожаров, в которых сгорают посаженные 30–40 лет назад деревья, и т.д.

Усилия по сохранению природной среды должны быть не одномоментными, не приуроченными к какому-то событию, а постоянными, носить системный характер, с неукоснительным соблюдением законодательства Российской Федерации, с координацией различных ведомств и на разных уровнях. Выраженная тенденция в природопользовании – большинство реализуемых проектов имеют весьма ограниченный период действия, обычно до 5–7 лет. Мало кто берется за проекты, растянутые на десятилетия. В Приморье имеются примеры, когда в весьма непростых условиях, обусловленных пионерным освоением огромного региона, вкладывая многолетние усилия и финансы, бизнесмены-созидатели достигали выдающихся результатов. Это М.И. Янковский в нынешнем Хасанском районе, А.Д. Старцев на о. Путятин и др. Однако в настоящее время при существенно лучших транспортных и демографических условиях подобные примеры назвать трудно. Например, получая участки леса в долгосрочную аренду, связанные с лесом компании не стремятся к организации лесопосадок. Между тем давно назрела потребность перехода от рубки дикорастущих деревьев к искусственному лесоразведению. Стоимость кубометра лесоматериалов или «кругляка» из-за крайне высокой стоимости трелевки и транспортировки становится не конкурентоспособной по сравнению с выращенной древесиной на смежной маньчжурской территории.

В России имеется развитая законодательная система. В целом она неплохая. Если неуклонно соблюдать законы, то природная среда будет сохранена. Но есть две большие проблемы. Первая проблема – нормы законодательства зачастую не выполняются. Например, вся территория Лазовского муниципального округа, в том числе населенные пункты, включена в границы охотугодий. При этом имеется неограниченное число жителей, имеющих свидетельство на право собственности на земельные участки, в том числе под домами. В соответствии с Гражданским кодексом право распоряжаться имуществом имеет только его собственник. Но у жителей-собственников никто согласия не спрашивал на включение их участков в охотугодья. Их даже не уведомили, но согласно «Закону об охоте» ограничили в правах на использование земельных участков. Кроме того, жителей частных домов приравнивали к браконьерам, так как их домовладения оказались в границах охотугодий. Согласно законодательству населенные пункты не должны включаться в охотугодья. Вторая проблема – нормы законодательства постоянно изменяются.

В России имеется система разработки и утверждения Генеральных планов развития муниципальных образований и регионов в целом. Она узаконена в Градостроительном кодексе. Генеральные планы принимаются на 20 лет и проходят процедуру общественных или публичных слушаний. В них отражается экологический каркас, показываются все ограничения. Казалось бы, нет про-

блем. Но вот пример. Надеждинский район. Дорогая земля. Много коттеджей внутри населенных пунктов. Строятся целые коттеджные поселки. Обеспеченные люди выбирают экологически чистое место для комфортной жизни на десятилетия вперед, вкладывают миллионы. И вдруг оказывается, что какая-то небольшая фирма начинает травить людей густонаселенного района сжиганием пестицидов. А затем появляется информация, что у этой фирмы были и документы на эту деятельность. Если бы не освещение этой проблемы в Интернете известным журналистом, то и сожгли бы [17]. И люди не знали бы, отчего заболели. Мы все заложники внезапно появляющихся экономических и «инвестиционных» проектов, зачастую идущих вразрез генеральным планам районной планировки и другим ранее утвержденным проектам. Конечно, впоследствии зачастую вносятся поправки в генеральные планы (по упрощенной схеме).

Другой пример. Рядом с Находкой строится завод по производству минеральных удобрений (НЗМУ). К 2023 г. планируется выпускать 1,8 млн т метанола, столько же аммиака и 3 млн т карбамида в год, с широким использованием китайской рабочей силы (в основном для экспорта в Китай). Насколько обосновано строительство очень крупного и далеко небезвредного производства рядом с городом, вопреки протестным акциям горожан, – это вопрос [20]. И все это по плану ТОР, которого при утверждении генерального плана не было.

Конечно, Приморский край, как и весь Российский Дальний Восток, должен интенсивно развиваться. Иначе он будет развиваться, но уже совсем по другим законам. Дело в том, что население азиатских стран в радиусе 1000 км от Владивостока составляет около 400 млн жителей, а на всем Российском Дальнем Востоке (36,1 % территории России) проживает 6,3 млн человек (почти в 2 раза меньше, чем в одной Москве). На космоснимках великолепно видна вся разница в освоенности приграничных территорий Российского Дальнего Востока и Приморского края, в частности сопредельных провинций других государств. Такая плотность населения в смежных странах и, соответственно, трансформация природной среды еще больше подчеркивают ценность Приморья, во многом сохранившего первозданную природу. Поэтому регион должен интенсивно развивать свою экономику и транспортную сеть, создавая комфортные (в том числе и эмоционально-комфортные) условия для проживающих здесь людей. Но это развитие должно быть всесторонне продуманным, плановым и с непереносимым условием сохранения уникальной природы Приморья. Экологический каркас Приморского края до конца не сформирован. Имеются территории и экосистемы, представляющие особую ценность, которым угрожает современный характер природопользования, но не имеющие природоохранного статуса или режим особой охраны, которые обеспечивали бы им устойчивое существование. Крайне важно сохранить всю созданную систему особо охраняемых природных территорий, незначительно дополнив ее, и обеспечить рациональный режим на ООПТ регионального значения.

Список использованных источников

1. Берсенов, Ю.И. Карст Дальнего Востока / Ю.И. Берсенов. – Москва: Наука, 1989. – 172 с.
2. Берсенов, Ю.И. Особо охраняемые природные территории Приморского края / Ю.И. Берсенов. – Владивосток, 1997. – 40 с.
3. Берсенов, Ю.И. Внутренний туризм: перспективы развития и роль особо охраняемых природных территорий / Ю.И. Берсенов // Дальний Восток России:

география, гидрометеорология, геоэкология. Материалы VI науч. конф. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. – С. 16–24.

4. Берсенева, Ю.И. Особо охраняемые природные территории Приморского края: существующие и проектируемые / Ю.И. Берсенева. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2017. – 202 с.

5. Берсенева, Ю.И. Екатериновский пещерный комплекс: былые и потенциальные возможности развития туризма // Записки Общества изучения Амурского края. – XLVII. – Владивосток: ПКОО ВОО «РГО» – ОИАК: Изд-во ВГУЭС, 2021. – С. 89–100.

6. Берсенева, Ю.И. Состояние и перспективы развития особо охраняемых природных территорий Приморского края / Ю.И. Берсенева, А.В. Жирмунский // Природоохранные территории и акватории Дальнего Востока и проблемы сохранения биологического разнообразия. Материалы 2-й науч. конф. посвящ. 60-летию Уссурийского заповедника. – Владивосток, 1994. – С. 9–11.

7. Буревестникообразные Красной книги России // Зоогалактика: [сайт]. – URL: <https://zoogalaktika.ru/russian-red-data-book/aves-red-data-book/procellariiformes>

8. Воробьева, Т.Ф. Охраняемые природные территории Дальнего Востока. Ч. I. Приморский край / Т.Ф. Воробьева, Б.В. Поярков, В.П. Селедец; Тихоокеанский институт географии ДВНЦ АН СССР. – Владивосток, 1982. – 51 с.

9. Глушченко, Ю.Н. Ханкайский заповедник нуждается в расширении территории. Птицы пресных вод и морских побережий юга Дальнего Востока России и их охрана / Ю.Н. Глушченко, Ю.В. Шибаев. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – С. 76–86.

10. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 г. (Экологическая программа). Часть 1. Система охраняемых природных территорий / В.В. Богатов, И.Б. Вышин, А.В. Жирмунский [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 1993. – С. 12–67.

11. «Идет охота...с вертолета» // Газета «Владивосток». – 2022. – № 4887 (6592).

12. Как участки для многодетных в районе Шаморы оказались в охранной зоне с кедром // VL.Ru: [сайт]. – URL: <https://www.news.vl.ru/vlad/2020/07/10/190573/#ixzz7k73ftjDc>

13. Красная книга Приморского края: Животные. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. Официальное издание. – Владивосток: АВК «Апельсин», 2005. – 448 с.

14. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 25.10.2005 № 289 «Об утверждении перечней (списков) объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и исключенных из Красной книги Российской Федерации».

15. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.03.2020 № 162 «Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации».

16. Розанов, М.П. Заповедники СССР / М.П. Розанов // Известия центрального бюро краеведения. – Москва: Главнаука. Госиздат., 1929. – № 10. – С. 4–12.

17. Скандал с химикатами в Приморье... // PrimaMedia.ru: [сайт]. – URL: <https://primamedia.ru/news/1181092/>

18. Стратегия сохранения биоразнообразия Сихотэ-Алиня (утв. Постановлением губернатора Приморского края от 15.10.1998 г. № 311) / В.В. Богатов, Д. Микелл, В.А. Розенберг [и др.]. – Владивосток, 2000. – 138 с.

19. Стратегия сохранения амурского тигра в Российской Федерации (утв. распоряжением Минприроды России от 02.07.2010 № 25-р). – Москва: Минприроды РФ, ИПЭЭ РАН, WWF России, 2010. – 102 с.

20. Федоренко, В. Заткните это животное / В. Федоренко. – URL: <https://novayagazeta.ru/articles/2021/03/24/zatknite-eto-zhivotnoe>

21. Федеральный закон № 33 «Об особо охраняемых природных территориях».

22. Храпко, О.В. Популяция чистоустовника Клейтона как памятник природы / О.В. Храпко // Природоохранные комплексы Дальнего Востока: Типологические особенности и природоохранные режимы. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. – С. 107–112.

Информация об авторе

Берсенеv Юрий Игоревич, канд. геол.-минерал. наук, действительный член Русского географического общества, член совета Приморского краевого отделения Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» – Общество изучения Амурского края. Организатор и директор первого на Дальнем Востоке России национального парка «Зов тигра»; организатор природного парка «Хасанский» и более 25 памятников природы. E-mail: ybersenev-zov@mail.ru

Section V. PROTECTED AREAS AND ECOTOURISM: PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Chapter 30. TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS AND THE PRESERVATION OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF PRIMORSKY KRAI

Yuriy I. Bersenev¹

Abstract. *The chapter deals with the problems of specially protected natural areas of Primorsky Krai. It is shown that measures to preserve the natural environment are of a systematic nature, with strict observance of the legislation of the Russian Federation, with the coordination of various departments and at different levels.*

Keywords: *specially protected natural areas; reserve; national park; reserve; monument of nature; economic activity; preservation of the natural environment.*

Information about authors

Yuriy I. Bersenev, Ph.D., full member of the Russian Geographical Society, member of the council of the Primorsky Regional Branch of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society" – Society for the Study of the Amur Territory. Organizer and director of the first national park "Call of the Tiger" in the Far East of Russia; organizer of the natural park "Khasansky" and more than 25 natural monuments. E-mail: ybersenev-zov@mail.ru

¹ Primorsky Regional Branch of the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society" – Society for the Study of the Amur Territory, 4 Peter the Great str., Vladivostok, 690091, Russia.

Глава 31. РОЛЬ МЕСТНОГО НАСЕЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

С.Ю. Гатауллина¹

***Аннотация.** Проводимые исследования показывают, что спрос на услуги экотуризма динамично растет. Почти в третьей части субъектов Российской Федерации экологический туризм признан одним из приоритетных направлений туристской деятельности, оказывающим значительное влияние на социально-экономическое развитие региона. В наибольшей степени потенциал экологического туризма реализуется в особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Используя такие методы исследования, как опросы, маркетинг и анализ вторичной информации, моделирование, сравнение и ряд других методов, автор проанализировал роль местного населения в организации экологического туризма в ООПТ.*

***Ключевые слова:** местное население; особо охраняемые природные территории; экологический туризм.*

Экологический туризм относится к наиболее востребованным и быстро развивающимся видам туристской деятельности. В концепции федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 годы)» и почти в трети государственных программ развития туризма в субъектах Российской Федерации экологический туризм входит в число приоритетных направлений развития туризма. Однако единообразная дефиниция понятия «экологический туризм» до сих пор в мировой практике не сформирована. Не совершенны методическое обеспечение организации экологического туризма, оценка факторов, влияющих на его развитие, недостаточно исследована роль местного населения в организации экотуризма в ООПТ. Это снижает эффективность развития экологического туризма и его влияние на социально-экономическое развитие региона.

Результаты исследования

Приведенное в ГОСТ Р 56642–2015 «Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования» определение экотуризма не вполне соответствует международным актам и трактовке этого понятия в научных публикациях, включающих более 20 различных атрибутивных элементов этого вида туризма [1]. Проведенный анализ позволил выделить следующие общие принципы организации экологического туризма, содержащиеся в большинстве определений экотуризма в научных публикациях и правовых актах: знакомство с живой (дикой) природой, с местными обычаями и культурой; минимизация негативных последствий пребывания человека в природной среде; поддержание устойчивого состояния природной экосистемы и содействие сохранению местной социокультурной среды; экологическое образование и просвещение; повышение благосостояния местных жителей за счет привлечения их к туристической деятельности; вклад в устойчивое социально-экономическое развитие посещаемых регионов (табл. 31.1).

¹ Школа экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10..

Таблица 31.1

Подходы к содержанию понятия «экологический туризм»

Содержание понятия «экологический туризм»	Источник
Путешествие с ответственностью перед окружающей средой по отношению к ненарушенным природным территориям с целью изучения и наслаждения природой и культурными достопримечательностями, которое содействует охране природы, оказывает «мягкое» воздействие на окружающую среду. Экотуризм обеспечивает активное социально-экономическое участие местных жителей и получение ими преимуществ от этой деятельности	Международный Союз охраны природы (IUCN / МСОП)
Туризм, включающий путешествия в места с относительно нетронутой природой с целью получить представление о природных и культурно-этнографических особенностях данной местности, которые не нарушают при этом целостности экосистем и создают такие экономические условия, при которых охрана природы и природных ресурсов становится выгодной для местного населения	WWF
Экологический туризм – это ответственное путешествие в природные территории, которое сохраняет окружающую среду, поддерживает благосостояние местных жителей, а также включает в себя интерпретацию и образование	Международное общество экотуризма
Экологический туризм – это ответственное путешествие в природные территории, которое содействует охране природы и улучшает благосостояние местного населения	
Экотуризм относится к тем формам туризма, при которых делается сознательная попытка свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду, оказать помощь в финансировании охраняемых природных территорий, создать источники дохода для местного населения	Рабочая группа по экотуризму Федерального министерства по финансовому сотрудничеству и развитию Германии (BMZ)
Экотуризм – природно-ориентированный устойчивый вид туризма, включающий: изучение окружающей природной среды с целью ее сохранения и приумножения; обеспечение активного участия местных жителей в его развитии и получение ими социально-экономических преимуществ от этой деятельности; реализацию программ экологического образования и просвещения населения	ГОСТ Р 56642–2015 «Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования»

Содержащиеся в международных правовых актах определения экологического туризма (см. табл. 31.1) подчеркивают неразрывную связь его развития с повышением уровня благосостояния местного населения.

В научных публикациях отечественных и зарубежных авторов выделяются следующие основные направления влияния экологического туризма на региональную среду:

- развитие экологического просвещения, формирование экологических ценностей, экологической культуры, экологического сознания у населения;
- рост трудовой занятости местного населения (особенно проживающего вблизи ООПТ), увеличение доходов местных жителей за счет обслуживания экотуристов;
- диверсификация видов туристской деятельности на прилегающих к ООПТ территориях;

- сохранение биоразнообразия, природных комплексов, поддержание благоприятной экологической ситуации;
- улучшение состояния здоровья населения;
- обеспечение экологически приемлемых условий для ведения лесного и сельского хозяйства на прилегающих к ООПТ территориях;
- формирование благоприятного экологического имиджа региона;
- сохранение, изучение и возрождение историко-культурного наследия местного населения;
- сохранение традиционного образа жизни местного населения;
- диверсификация экономики региона;
- повышение эффективности осуществления государственного мониторинга окружающей среды;
- формирование позитивного отношения местного населения к деятельности администраций ООПТ;
- повышение инвестиционной привлекательности проектов по развитию инфраструктуры в ООПТ и на прилегающих территориях;
- обеспечение рационального использования природных ресурсов в регионе;
- развитие экологического туризма и популяризация здорового образа жизни;
- развитие рынка экосистемных услуг;
- развитие международного и межрегионального сотрудничества в сфере экологии и охраны окружающей среды, научной и учебной деятельности;
- развитие экотрендов «зеленого» роста экономики региона, диверсификация видов предпринимательской деятельности и «зеленых» технологий.

Все это свидетельствует о роли экологического туризма как значимого фактора социально-экономического развития региона (рис. 31.1) [1].



Рис. 31.1. Влияние экологического туризма на регион

Наибольшим потенциалом для развития экологического туризма, соответствующего его базовым принципам, обладают особо охраняемые природные территории: государственные природные заповедники, в том числе биосферные; национальные парки; природные парки; государственные природные заказники; памятники природы; дендрологические парки и ботанические сады; лечебно-оздоровительные местности и курорты. В соответствии с Федеральным законом от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» в число прочих задач администраций и собственников территорий, на которых расположены ООПТ, входит осуществление экологического воспитания населения. Реализация этой задачи связана с организацией экологического просвещения и развитием познавательного туризма на территориях ООПТ (экологического туризма) в соответствии с установленным режимом их охраны и зонирования.

Анализ более 100 научных публикаций и проведенные интервью с представителями ООПТ позволили сделать вывод о недостаточно эффективном функционировании ООПТ в России и наличии проблем, снижающих устойчивость их работы. Выявлено более 50 основных проблем функционирования ООПТ, ранжированных и сгруппированных по следующим блокам:

- низкий уровень финансирования;
- браконьерство в ООПТ, конфликты с местным населением;
- активная предпринимательская деятельность вблизи ООПТ;
- ухудшение экологической ситуации в связи с загрязнением промышленными отходами;
- неразвитость инфраструктуры ООПТ;
- нехватка экскурсионных маршрутов и экологических троп;
- негативное воздействие туристов и посетителей на рекреацию территории;
- низкий уровень экологического просвещения населения;
- недостаточная эффективность работы научных отделов ООПТ;
- низкий темп прироста числа посетителей;
- сезонность спроса на экотурпродукты;
- нехватка квалифицированных кадров.

На рисунке 31.2 представлена схема проблем и потребностей ООПТ в ресурсах и представителей внешней среды, взаимодействие с которыми может способствовать привлечению в ООПТ необходимых средств. Из рисунка видно, что развитие сотрудничества администраций ООПТ (или владельцев территорий, на которых они расположены) с местным населением обладает значительным потенциалом в решении значительного числа проблем устойчивого функционирования ООПТ и повышения эффективности развития экологического туризма (здесь и далее будут рассматриваться ООПТ, где туристская деятельность разрешена) [2].

Исследования публикаций в российских и зарубежных наукометрических базах подтверждают высокую роль местного населения в обеспечении устойчивого развития экологического туризма в ООПТ. Экономический, социальный, экологический выигрыш в результате такого сотрудничества получают обе стороны – администрации ООПТ и местное население.

Администрации ООПТ получают возможность: привлекать дополнительные трудовые и материальные ресурсы местных жителей для обслуживания туристов и проведения экологопросветительской работы; расширять спектр предоставляемых туристам экосистемных услуг; использовать инфраструктуру домохозяйств местных жителей для обслуживания туристов; рационально распределять

турпотоки в высокий туристический сезон, снижая антропогенную нагрузку в ООПТ за счет развития экологического, этнографического, событийного, гастрономического и других видов туризма на прилегающих к ООПТ территориях; снижать риски браконьерства местных жителей.

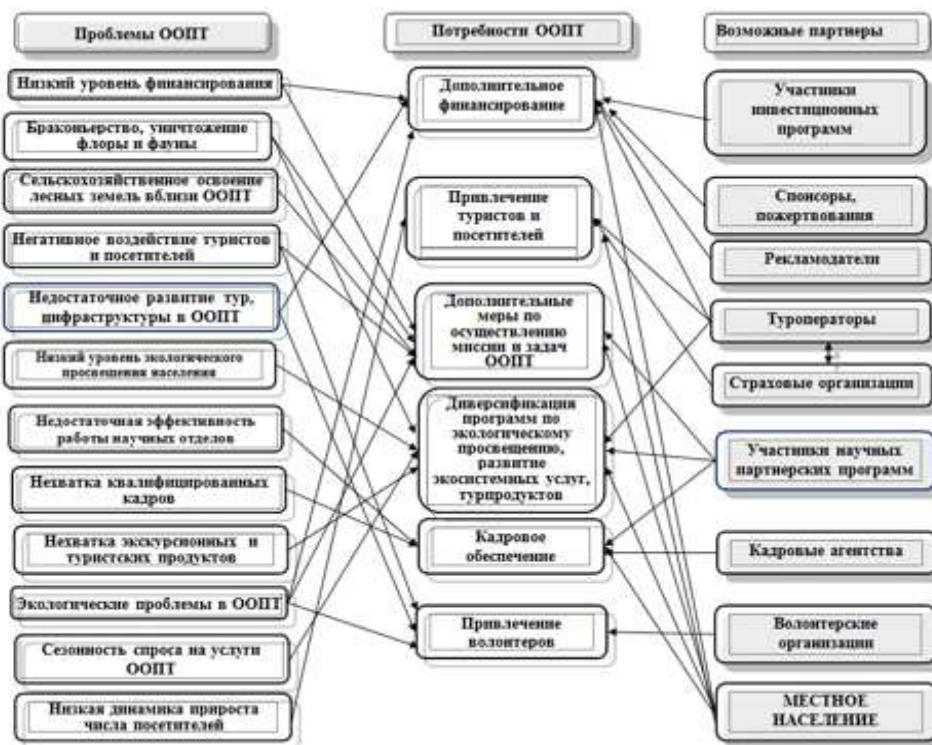


Рис. 31.2. Схема проблем и потребностей ООПТ

Для местного населения сотрудничество с администрациями ООПТ позволит: повысить их трудовую занятость за счет создания постоянных или временных рабочих мест в ООПТ; поднять уровень самозанятости; увеличить доходы домохозяйств от обслуживания туристов; повысить уровень образования и культуры в результате проведения администрациями ООПТ обучающих программ для представителей местных сообществ, привлекаемых к обслуживанию туристов. В результате роста турпотока повысится инвестиционная привлекательность объектов туристской и социальной инфраструктуры, создаваемых в ООПТ и на прилегающей территории, что повысит уровень комфорта среды проживания местного населения. Динамичное развитие экотуризма в ООПТ будет способствовать более активному внедрению инноваций в его организацию, появлению новых привлекательных для молодежи профессий (экопроводник, экопродуксер, экологист, заповедный менеджер, аудитор экосистемных услуг и др.), что расширит образовательное пространство молодежи, увеличит возможность их личностного развития и последующего трудоустройства, приведет к закреплению трудовых ресурсов в регионе. Кроме того, повышение уровня благосостояния местного населения в результате развития экотуризма будет способствовать реализации базового принципа осуществления экотуристской деятельности.

При вовлечении администрациями ООПТ местного населения в организацию экотуризма необходимо выявлять и анализировать барьерные факторы развития такого сотрудничества. Эти факторы носят как общий характер, так имеют и специфические региональные/национальные особенности. В публикациях вьетнамских ученых Nguyen Bui Anh Thu, Truong Thi Thu Ha, Le Minh Tuan [3], Nguyen Ngoc Linh [4], Nguyen Hong Ha, Chung Thi Hoa Lu [5] выделены следующие проблемы привлечения населения Вьетнама к организации экотуризма:

- средства социального стимулирования по привлечению местного населения к организации экологического туризма сильно ограничены и не эффективны;
- отсутствует эффективный диалог и сплоченность среди заинтересованных сторон по развитию экотуризма в ООПТ;
- существует конфликт интересов в организации экотуризма и отсутствует механизм разрешения этих конфликтов;
- уровень развития инфраструктуры для организации экотуризма в ООПТ не достаточен, а возможности домохозяйств низки;
- несовременно информационное обеспечение развития экотуризма, механизм привлечения к нему местного населения не разработан, административные и хозяйственные процедуры участия местного населения в развитии экотуризма сложны;
- отсутствует нормативно-правовая база по совместному управлению распределением выгод от экотуризма;
- доходы от экотуризма низкие, ненадежные, неустойчивые;
- местное население часто привлекается к выполнению тяжелой и непрестижной работы без контактов с туристами, у местного населения Вьетнама часто отсутствует образование и опыт в сфере туристской деятельности;
- существуют языковые и культурно-коммуникативные проблемы в общении вьетнамцев с иностранными туристами [3–5].

Факторы, ограничивающие развитие сотрудничества администраций ООПТ с местным населением и приводящие к возникновению между ними конфликтных ситуаций, исследовали Е.В. Смиренникова, А.В. Уханова, Л.В. Воронина [6, 7], А.В. Бочарникова [8], L. Kaljur [9], Е.С. Виноградов [10], С. Serenari, M.N. Peterson, T. Wallace, P. Stowhas [11], Н. Abukari, R.B. Mwalyosi [12], G.W Forje, M.N. Tchamba, M. Eno-Nkub [13] и ряд других авторов.

Причины возникновения конфликтов между местным населением и администрациями ООПТ можно разделить на следующие группы:

экономические: несогласие с распределением благ от развития экотуризма между администрациями ООПТ и местными жителями; высокое влияние сезонности на объем спроса на экотурпродукты и неустойчивый объем доходов домохозяйств от обслуживания туристов; отсутствие у населения необходимых средств для развития сервисной инфраструктуры по приему туристов;

социокультурные: боязнь утраты части моральных и духовных ценностей, недостаток общего и профессионального образования у местного населения; отсутствие у представителей местных сообществ необходимых знаний, опыта по обслуживанию туристов, разработке турпродуктов;

специфические: инертность – нежелание местного населения вносить изменения в сложившийся уклад жизни; угроза «размывания» национальной культуры и утраты национальной самобытности (это особенно характерно для корен-

ных малочисленных народов); протестные настроения, связанные с отчуждением земель или ограничением доступа на них в связи с учреждением ООПТ;

информационно-коммуникативные: недостаток информации у местного населения о роли туризма и его влиянии на социально-экономическое развитие территории; отсутствие возможности или навыков применения IT-технологий для разработки и продвижения представителями местных сообществ экотурпродуктов;

институциональные: несовершенство механизма взаимоотношений администраций ООПТ и местных сообществ – правовых норм, в пределах которых и формируются правила поведения и предписания, взаимные обязательства, механизмы стимулирования и принуждения к исполнению установленных правил; устанавливается ответственность за их нарушение;

психологические: представители местных сообществ склонны занижать значимость получаемых ими благ от развития в ООПТ экологического туризма и преувеличивать потери домохозяйств от организации ООПТ. Это отмечали практически все исследователи, проводившие индивидуальные опросы и дискуссии в фокус-группах с участием представителей местных сообществ;

факторы риска: рост турпотока в результате развития экотуризма может привести к ухудшению санитарно-эпидемиологической обстановки и экологической ситуации в ООПТ и на прилегающей территории (загрязнение территории бытовыми отходами, пожары, рост браконьерства, утрата части природно-рекреационных ресурсов при превышении предельно допустимой антропогенной нагрузки, нарушение тишины и привычной среды для животного мира в связи с развитием туристской инфраструктуры на прилегающих к ООПТ территориях и тому подобное).

Анализ положительного опыта взаимодействия администраций ООПТ и местного населения позволяет сделать вывод о том, что решение указанных проблем существует. А.В. Мядзелец и Н.М. Лужкова в работе «Перспективы развития Байкальского заповедника для жителей поселка Танхой» описывают действия администрации заповедника для формирования у жителей поселка Танхой (Кабанский район, Республика Бурятия) позитивного настроения по сотрудничеству в развитии туристско-рекреационной деятельности [14]:

- развитие тесного сотрудничества с местной школой-интернатом, формирование у детей положительного отношения к экотуризму, основ экологического сознания и экологической культуры;

- активное сотрудничество с российскими и международными организациями, имеющими большой положительный опыт в развитии туристской деятельности и туристской инфраструктуры: Службой Рыбы и Дичи США, Службой Леса США, компанией «DenaJe» (Франция), общественной организацией «Тахо-Байкал Институт», командой проекта «Большая байкальская тропа», Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (ИГ СО РАН) и рядом других организаций;

- регулярное проведение социологических опросов населения поселка и близлежащих населенных пунктов с целью выявления и мониторинга общественного мнения относительно проектов, реализуемых администрацией заповедника, и возможности участия в них местного населения;

- регулярная организация круглых столов, семинаров с приглашением экспертов для обсуждения существующих проблем сотрудничества местных жителей и администрации заповедника;

– выделение земельных участков, где разрешена традиционная хозяйственная деятельность, кустарные и народные промыслы, а также связанные с ними виды пользования природными ресурсами для обеспечения ведения традиционного образа жизни представителями коренных малочисленных народов в соответствии с законодательством РФ;

– реализация в Алтае-Саянском экорегионе в 2007–2008 гг. масштабного проекта по выявлению и систематизации традиционных экологических знаний коренных народов, издание по результатам проведенных исследований информационно-методического справочника для персонала ООПТ, национальных общественных объединений и представителей местных органов власти.

Исследование А.В. Жуковского содержит обзор зарубежного опыта создания и управления системой ООПТ в Канаде. В законодательстве Канады предусмотрено, что в случае создания ООПТ на землях коренных народов их права по добыче природных ресурсов учитываются и сохраняются. Несмотря на то, что право собственности на территории, включенные в состав ООПТ, оспаривается, за аборигенным населением закрепляется право на осуществление традиционной деятельности по использованию природных ресурсов, сохранению обычаев и проведению ритуалов, соответствующих национальным традициям и культуре. Еще одним вариантом сотрудничества является передача земель, приобретенных природоохранными организациями, в собственность коренного населения. При этом заключается соглашение о владении землей, предусматривающее обеспечение местным населением ее сохранности [15].

Заключение

Сотрудничество администраций ООПТ и местного населения по развитию экологического туризма является значимым фактором в реализации задачи осуществления экологического просвещения и формирования экологической культуры населения. Проведенные автором исследования подтверждают выгоды такого сотрудничества для администраций ООПТ, местного населения, общества. Недостаточная изученность вопроса потерь и выгод местных сообществ в результате организации ООПТ и развития на их территории экотуризма, несовершенство методического обеспечения развития механизма такого сотрудничества значительно снижают роль экотуризма в социально-экономическом развитии регионов.

Вопрос состава, структуры, измерения объемов потерь и выгод для местных сообществ при организации ООПТ, а также механизма перераспределения доходов от экотуризма в ООПТ в России еще недостаточно исследован; определение объема материальной выгоды и структуры доходов-затрат домашних хозяйств местных сообществ, а также влияние на нее участия по обслуживанию туристов недостаточно исследован в РФ; статистическая база данных не совершенна. Отсутствие эффективного механизма сотрудничества, обоснованного справедливого распределения выгод от развития экологического туризма порождает конфликты между местными сообществами и администрациями ООПТ, что негативно влияет на развитие экотуризма, имидж ООПТ, страны/региона, полностью противоречит провозглашенным ООН базовым принципам устойчивого развития человечества.

Совершенствование понятийного аппарата, развитие классификаций экологического туризма, разработка методик оценки влияния экотуризма на регио-

нальную среду и устойчивость функционирования особо охраняемых природных территорий, разработка базовых критериев оценки эффективности вовлечения местного населения в экотуристскую деятельности в ООПТ будут способствовать успешной реализации стратегии экологоориентированного развития экономики Российской Федерации, достижению цели и задач национального проекта «Экология», развитию экологического туризма и экопросвещения, формированию экологической культуры населения, сохранению национальной самобытности местных сообществ и росту их благосостояния.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Гатауллина, С.Ю. Исследование факторов, влияющих на развитие экологического туризма в регионе (на примере Приморского края) / С.Ю. Гатауллина, А.Ю. Коссов, М.А. Моханнад // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/40EVN616.pdf>
2. Гатауллина, С.Ю. Роль цифровых технологий в развитии информационно-коммуникационной активности ООПТ / С.Ю. Гатауллина, Е.А. Тюрина // Стратегии и инструменты экологически устойчивого развития экономики: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики; под ред. И.М. Потравного, П.И. Сафонова, О.А. Чередниченко, Н.А. Довготько. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2019. – С. 521–527. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41211509>
3. Bui Anh Thu, Nguyen. Участие местного населения в развитии общинного экотуризма в Кокосовом лесу Бэй Май Кам Тхань – Хойан / Nguyen Bui Anh Thu, Truong Thi Thu Ha, Le Minh Tuan // Научный журнал университета Хюэ: социальные науки и гуманитарность. – 2019. – Т. 128, № 6D. – С. 53–70. – URL: <https://doi.org/10.26459/hueuni-jssh.v128i6D.5417>
4. Ngoc Linh, Nguyen. Обеспечение средств к существованию местных сообществ в деятельности по общественному туризму: сайт «Национальная администрация туризма – Исследовательский институт развития туризма». Опубликовано 24.08.2020. – URL: http://itdr.org.vn/nghien_cuu/dam-bao-sinh-ke-cua-cong-dong-dia-phuong-trong-hoat-dong-du-lich-cong-dong/?fbclid=IwAR1A595XzzmPngggCajRq4WnSkJuPSvtaF071IgujA-wzkZhEhoGuHXKgbA
5. Hong Ha, Nguyen. Улучшение возможностей домохозяйств участвовать в модели туризма на базе сообществ в провинции Чавинь / Nguyen Hong Ha, Chung Thi Hoa Lu // Журнал промышленности и торговли – Результаты научных исследований и применение технологий. – 2021. – Вып. 10. – URL: <https://tapchicongthuong.vn/bai-viet/nang-cao-kha-nang-tham-gia-mo-hinh-du-lich-cong-dong-cua-ho-dan-tai-tinh-tra-vinh-74338.htm?print=print>
6. Смиреникова, Е.В. Конфликты на особо охраняемых природных территориях европейской части Российской Арктики: систематизация и механизм разрешения / Е.В. Смиреникова, А.В. Уханова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2021. – Т. 14, № 6. – С. 176–196. – DOI: 10.15838/esc.2021.6.78.10. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47506296>
7. Смиреникова, Е.В. Конфликты на особо охраняемых природных территориях Арктического региона: выявление, анализ и пути решения / Е.В. Сми-

ренникова, А.В. Уханова, Л.В. Воронина // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 107–123. – DOI: 10.15838/esc.2019.3.62.7 – URL: www.elibrary.ru/item.asp?id=38539197

8. Бочарникова, А.В. Особо охраняемые природные территории и коренные народы: способы решения конфликтов в сравнении между Британской Колумбией (Канада) и Приморским краем (Россия) / А.В. Бочарникова // Биосфера. – 2020. – Т. 12, № 1–2. – С. 45–52. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43093431>

9. Kaljur, L. Почему коренные народы России опасаются национальных парков / L. Kaljur // Арктика глубоко. – 2017. – URL: <https://deeply.thenewhumanitarian.org/arctic/articles/2017/05/09/why-russias-indigenous-people-are-wary-of-national-parks>

10. Виноградов, Е.С. Проблемы развития экологического туризма на особо охраняемых природных территориях России / Е.С. Виноградов // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2014. – № 4 (22). – С. 118–123. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razvitiya-ekologicheskogo-turizma-na-osobo-ohranyaemyh-prirodnyh-territoriyah-rossii/viewer>

11. Serenari, C. Частные охраняемые территории, развитие экотуризма и влияние на благосостояние местного населения: обзор тематических исследований в Южном Чили / C. Serenari, M.N. Peterson, T. Wallace, P. Stowhas. // Журнал устойчивого туризма. – 2016. – Т. 25 (12). – С. 1792–1810. – URL: <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1178755>

12. Abukari, H. Представления местных сообществ о влиянии охраняемых территорий на средства к существованию и развитие сообщества / H. Abukari, R.B. Mwalyosi. // Журнал «Глобальная экология и охрана природы». – 2020. – Т. 22 (e00909). – URL: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00909>

13. Forje, G.W. Детерминанты развития экотуризма на охраняемых территориях и вокруг них: случай национального парка Кампо-Маан в Камеруне / G.W. Forje, M.N. Tchamba, M. Eno-Nkub // Журнал «Scientific African». – 2020. – Т. 11 (e00663). – URL: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00663>

14. Мядзелец, А.В. Перспективы развития Байкальского заповедника для жителей поселка Танхой / А.В. Мядзелец, Н.М. Лужкова // Вестник Бурятского государственного университета. Гуманитарные исследования Внутренней Азии. – 2013. – № 2. – С. 111–122. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-baykalskogo-zapovednika-dlya-zhiteley-poselka-tanhoy>

15. Жуковский, А.Ю. Обзор зарубежного опыта создания и управления системой ООПТ на примере Канады / А.Ю. Жуковский // Международный научно-исследовательский журнал. – Москва, 2020. – № 2 (92), ч. 1. – С. 105–107. – URL: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.020>

Информация об авторе

Гатауллина Светлана Юрьевна, старший преподаватель Департамента туризма и гостеприимства, Школа экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет; действительный член, Русское географическое общество. E-mail: gataullina.syu@dvfu.ru

Section V. PROTECTED AREAS AND ECOTOURISM: PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Chapter 31. THE ROLE OF THE LOCAL POPULATION IN THE DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TOURISM IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

Svetlana Yu. Gataullina¹

Abstract. *Conducted studies show that the demand for ecotourism services is growing dynamically. In almost a third of the constituent entities of the Russian Federation, ecological tourism is recognized as one of the priority areas of tourism activity, which has a significant impact on the socio-economic development of the region. To the greatest extent, the potential of ecological tourism is realized in specially protected natural areas (SPNA). Using such research methods as surveys, marketing and analysis of secondary information, modeling, comparison and a number of other methods, the author of the article analyzed the role of the local population in the organization of ecological tourism in SPNA.*

Keywords: *local population; specially protected natural areas; ecological tourism.*

Information about authors

Svetlana Yu. Gataullina, Senior Lecturer of the Department of Tourism and Hospitality, School of Economics and Management, Far Eastern Federal University; full member, Russian Geographical Society. E-mail: gataullina.syu@dvfu.ru

¹ School of the Economics and Management, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia.

Научное издание

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Монография

Редактор И.Г. Шабунина
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Подписано в печать 03.06.2023. Формат 70×100/16.
Бумага писчая. Печать цифровая. Уч.-изд.л. . Усл.-печ. л.
Тираж 500 [I–100] экз. Заказ

Владивостокский государственный университет
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано в ресурсном информационно-методическом центре ВВГУ
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41