

ВЕСТНИК

ISSN 0869–7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

3
2020

Научный журнал

Учредители
ФГБУ ДВО РАН
ФГБУНО ЦНБ ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.
Издание прекращено в 1939 г.,
возобновлено в 1990 г.

ВЕСТНИК

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

3 (211). 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Науки о Земле

- В.Г. БЫКОВ, Н.В. ШЕСТАКОВ, М.Д. ГЕРАСИМЕНКО, А.А. СОРОКИН, А.В. КОНОВАЛОВ, А.С. ПРЫТКОВ, Н.Ф. ВАСИЛЕНКО, Д.А. САФОНОВ, А.Г. КОЛОМИЕЦ, М.А. СЕРОВ, В.В. ПУПАТЕНКО, С.П. КОРОЛЕВ, А.Л. ВЕРХОТУРОВ, В.С. ЖИЖЕРИН, К.С. РЯБИНКИН. Единая сеть геодинамических наблюдений ДВО РАН: становление, десять лет развития, основные достижения 5
- О.Л. СОКОЛ-КУТЬЛОВСКИЙ, Д.С. ТЯГУНОВ. Регистрация вариаций геомагнитного поля магнитомодуляционным датчиком 25
- Л.А. ИЗОСОВ, Н.П. КУЛЬКОВ. Геология раннего–среднего палеозоя Япономорской зоны перехода континент–океан (обзор). Ч. 2 31
- Л.В. ГОРБАТЕНКО. Состояние водопользования и качество водной среды в бассейне озера Ханка 47
- А.А. ЛЕГКОДИМОВ, М.А. БОВСУН, Д.А. ШВАЛОВ, Г.И. МИШУКОВА, М.В. ИВАНОВ, Н.А. ЛИПИНСКАЯ, М.В. ШАПОВАЛОВА, А.Г. ШИЯНОВ. Предварительные результаты комплексных океанографических и геофизических наблюдений на профиле залив Петра Великого–Цусимский пролив (Японское море, октябрь 2019 г.) 59

Новые технологии

- М.Н. БЕЗРУК, Р.В. РОМАШКО, Ю.Н. КУЛЬЧИН. Детектирование слабых акустических полей с помощью волоконно-оптической измерительной системы для задач неразрушающей диагностики 68

Химические науки

- С.В. ГНЕДЕНКОВ, Д.П. ОПРА, В.Г. КУРЯВЫЙ, С.Л. СИНЕБРЮХОВ, А.А. СОКОЛОВ, А.И. НЕУМОИН, А.Н. МИНАЕВ, В.И. СЕРГИЕНКО. Анодные материалы на основе сульфата и оксисульфата свинца для литий-ионных аккумуляторов 73
- Т.Н. ХАМАГАНОВА. Получение и свойства поликристаллов CdV_4O_7 , легированных ионами Cr^{3+} 79
- О.А. ГОЛУБИНА, И.А. ПЕРЕДЕРИНА, Е.Н. ТВЕРЯКОВА, Ю.Ю. МИРОШНИЧЕНКО, Е.А. КУРЦЕВИЧ, П.Б. БОРИСОВ. Содержание биогенных микро- и макроэлементов (Zn, Co, Cr, Na, Ca, Fe) в эвтрофной торфяной залежи 84

Биологические науки

- Б.Ф. ПШЕНИЧНИКОВ, Н.Ф. ПШЕНИЧНИКОВА, А.С. ЯКШИНА. Влияние пирогенного фактора на содержание тяжелых металлов в буроземах побережья юго-востока Приморья 93
- Н.С. ШИХОВА. Анализ функциональной эффективности зеленых насаждений в структуре городского озеленения Владивостока 103

Морские особо охраняемые природные территории мира

- Н.К. ХРИСТОФОРОВА, А.Д. КОБЗАРЬ, Р.А. ГРИГОРОВ. Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей 116
- С.В. НЕСТЕРОВА, И.Р. ЛЕВЕНЕЦ, Е.Г. РАЕВСКАЯ. Новые находки сосудистых растений на супралиторали острова Попова (залив Петра Великого, Японское море) 126

Сообщения

- В.Б. ДОКУЧАЕВА, Н.Е. ДОКУЧАЕВ. Обнаружение ржавчинного гриба *Chrysomyxa woronini* Tranzsche в искусственных посадках елей на территории Магаданской области 134

Экспедиции

Р.Б. ШАКИРОВ, Н.С. ЛИ, А.И. ОБЖИРОВ, М.Г. ВАЛИТОВ, В.Т. СЪЕДИН, Ю.А. ТЕЛЕГИН, З.Н. ПРОШКИНА, А.К. ОКУЛОВ, А.В. СТОРОЖЕНКО, М.В. ИВАНОВ, Д.А. ШВАЛОВ, А.А. ЛЕГКОДИМОВ, А.И. ЕСЬКОВА, Н.А. ЛИПИНСКАЯ, М.А. БОВСУН, Д.С. МАКСЕЕВ, В.Ю. КАЛГИН, Т.С. ЯКИМОВ, НГУЕН ЧУН ТХАНЬ, ЛЕ ДЫК АНЬ. Комплексная российско-вьетнамская геолого-геофизическая и океанографическая экспедиция в Южно-Китайское море (НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс 88, 2019 г.) 138

Ученые Дальнего Востока

А.А. ХИСАМУТДИНОВ. Геолог Эдуард Анерт: «держаться возможно ближе к истине» 153

Главный редактор вице-президент РАН академик РАН В.И. СЕРГИЕНКО

Заместитель главного редактора В.С. ЖЕРДЕВ

Ответственный секретарь Л.А. РУСОВА

Редакционная коллегия:

- акад. РАН А.В. АДРИАНОВ – научный руководитель (президент) Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.А. АКУЛИЧЕВ – научный руководитель Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН Д.Л. АМИНИН – зав. лабораторией Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН П.Я. БАКЛАНОВ – научный руководитель Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.В. БОГАТОВ (зам. главного редактора) – главный ученый секретарь ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН С.Ю. БРАТСКАЯ – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН Б.А. ВОРОНОВ – научный руководитель Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск
- чл.-корр. РАН А.А. ГОНЧАРОВ – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Е.И. ГОРДЕЕВ – научный руководитель Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
- акад. РАН М.А. ГУЗЕВ – директор Института прикладной математики ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Г.И. ДОЛГИХ – зам. директора по научным вопросам Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН А.Г. КЛЫКОВ – зав. отделом Федерального научного центра агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск
- чл.-корр. РАН П.В. КРЕСТОВ – директор Ботанического сада-института ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН Ю.Н. КУЛЬЧИН – научный руководитель Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.Л. ЛАРИН – научный руководитель Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток
- д.г.-м.н. Ю.А. МАРТЫНОВ – зав. лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН П.А. МИНАКИР – научный руководитель Института экономических исследований ДВО РАН, Хабаровск
- д.г.-м.н. А.Ю. ОЗЕРОВ – директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
- чл.-корр. РАН Ю.М. ПЕРЕЛЬМАН – зам. директора по научной работе Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания, Благовещенск
- д.ф.-м.н. С.В. ПРАНЦ – зав. отделом Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток
- акад. РАН В.А. СТОНИК – научный руководитель Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток
- чл.-корр. РАН Е.Я. ФРИСМАН – главный научный сотрудник Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан
- акад. РАН А.И. ХАНЧУК – научный руководитель Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток

Scientific journal

Founders

Far East Branch of RAS

Central Scientific Library, FEB RAS

The journal was found in 1932

The publication was discontinued in 1939,
was resumed in 1990

VESTNIK

OF THE FAR EAST BRANCH

OF THE RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES

3 (211). 2020

CONTENTS

Earth sciences

- V.G. BYKOV, N.V. SHESTAKOV, M.D. GERASIMENKO, A.A. SOROKIN, A.V. KONOVALOV, A.S. PRYTKOV, N.F. VASILENKO, D.A. SAFONOV, A.G. KOLOMIETS, M.A. SEROV, V.V. PUPATENKO, S.P. KOROLEV, A.L. VERKHOTUROV, V.S. ZHIZHERIN, K.S. RYABINKIN. Unified observation network for geodynamic monitoring in FEB RAS: formation, 10 years of development and major achievements 5
- O.L. SOKOL-KUTYLOVSKII, D.S. TYAGUNOV. Registration of geomagnetic field variations with a magnetic modulating sensor 25
- L.A. IZOSOV, N.P. KULKOV. Early–Middle Paleozoic geology of the Sea of Japan Continent – Ocean Transitional Zone (review). Pt 2 31
- L.V. GORBATENKO. Status of water use and water quality in the Khanka Lake basin 47
- A.A. LEGKODIMOV, M.A. BOVSUN, D.A. SHVALOV, G.I. MISHUKOVA, M.V. IVANOV, N.A. LIPINSKAYA, M.V. SHAPOVALOVA, A.G. SHIYANOV. Preliminary results of integrated oceanographic and geophysical observations in the profile of Peter the Great Bay - Tsushima Strait (the Sea of Japan, October 2019) 59

New technologies

- M.N. BEZRUK, R.V. ROMASHKO, Yu.N. KULCHIN. Detecting weak acoustic fields using optical-fiber system for purposes of nondestructive diagnostics 68

Chemical sciences

- S.V. GNEDENKOV, D.P. OPRA, V.G. KURYAVYI, S.L. SINEBRYUKHOV, A.A. SOKOLOV, A.I. NEUMOIN, A.N. MINAEV, V.I. SERGIENKO. Lead sulfate and oxysulfate as a base for anode materials of lithium-ion batteries 73
- T.N. KHAMAGANOVA. Obtaining and properties of CdB₄O₄ polycrystals, doped with Cr³⁺ ions 79
- O.A. GOLUBINA, I.A. PEREDERINA, E.N. TVERYAKOVA, Yu.Yu. MIROSHNICHENKO, E.A. KURTSEVICH, P.B. BORISOV. Content of biogenic micro-and macronutrients (Zn, Co, Cr, Na, Ca, Fe) in the eutrophic peat deposit 84

Biological sciences

- B.F. PSHENICHNIKOV, N.F. PSHENICHNIKOVA, A.S. YAKSHINA. Impact of pyrogenic factors on heavy metal content in burozems of South-Eastern coast of Primorye 93
- N.S. SHIKHOVA. The analysis of functional significance of the urban plantings in Vladivostok landscape structure 103

World's marine protected areas

- N.K. KHRISTOFOROVA, A.D. KOBZAR, R.A. GRIGOROV. The Ussuri Bay: shallow water pollution by heavy metals and its assessment using brown algae 116
- S.V. NESTEROVA, I.R. LEVENETS, E.G. RAEVSKAYA. New findings of vascular plants on the Popov Island supralittoral (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) 126

Reports

- V.B. DOKUCHAEVA, N.E. DOKUCHAEV. Detection of the rust fungus *Chrysomyxa woronini* Tranzschel in artificial planting of spruce trees in the Magadan Region territory 134

Expeditions

R.B. SHAKIROV, N.S. LEE, A.I. OBZHIROV, M.G. VALITOV, V.T. SEDIN, Yu.A. TELEGIN, Z.N. PROSHKINA, A.K. OKULOV, A.V. STOROZHENKO, M.V. IVANOV, D.A. SHVALOV, A.A. LEGKODIMOV, A.I. ESKOVA, N.A. LIPINSKAYA, M.A. BOVSUN, D.S. MAKSEEV, V.Yu. KALGIN, T.S. YAKIMOV, NGUYEN TRUNG THANH, LE DUC ANH. Integrated Russian-Vietnamese geological-geophysical and oceanographic expedition in the South China Sea (R/V “Akademik M.A. Lavrentyev”, cruise 88, 2019) 138

Scientists of the Far East

A.A. KHISAMUTDINOV. Geologist Eduard Ahnert: «Stay as close to the truth as possible» 153

Chief Editor V. I. SERGIENKO, Academician, Vice-President of RAS

Deputy Chief Editor V.S. ZHERDEV

Executive Secretary L.A. RUSOVA

Editorial staff:

- A.V. ADRIANOV, Academician of RAS – Research Supervisor (President), A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok
- V. A. AKULICHEV, Academician of RAS – Research Supervisor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- D.L. AMININ, Corresponding Member of RAS – Chief of Laboratory, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
- P.Ya. BAKLANOV, Academician of RAS – Research Supervisor, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok
- V.V. BOGATOV, Academician of RAS (Deputy Chief Editor) – Chief Scientific Secretary, FEB RAS, Vladivostok
- S.Yu. BRATSKAYA, Corresponding Member of RAS – Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
- G.I. DOLGIKH, Academician of RAS – Deputy Director for Research, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- E.Ya. FRISMAN, Corresponding Member of RAS – Chief Researcher, Institute of Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS, Birobidzhan
- A.A. GONCHAROV, Corresponding Member of RAS – Chief Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
- E.I. GORDEEV, Academician of RAS – Research Supervisor, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
- M.A. GUZEV, Academician of RAS – Director, Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok
- P.V. KRESTOV, Corresponding Member of RAS – Director, Botanical Garden-Institute FEB RAS, Vladivostok
- A.I. KHANCHUK, Academician of RAS – Research Supervisor, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- A.G. KLYKOV, Corresponding Member of RAS – Head of the Department, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk
- Yu.N. KULCHIN, Academician of RAS – Research Supervisor, Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok
- V.L. LARIN, Academician of RAS – Research Supervisor, Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok
- Yu.A. MARTYNOV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences – Chief of Laboratory, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- P.A. MINAKIR, Academician of RAS – Research Supervisor, Economic Research Institute, FEB RAS, Khabarovsk
- A.Yu. OZEROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences – Director, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
- Yu.M. PERELMAN, Corresponding Member of RAS – Deputy Director for Science, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, Blagoveshchensk
- S.V. PRANTS, Doctor of Physical-Mathematical Sciences – Head of the Department, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
- V.A. STONIK, Academician of RAS – Research Supervisor, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
- B.A. VORONOV, Corresponding Member of RAS – Research Supervisor, Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk
- Yu.N. ZHURAVLEV, Academician of RAS – Chief Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

В.Г. БЫКОВ, Н.В. ШЕСТАКОВ, М.Д. ГЕРАСИМЕНКО,
А.А. СОРОКИН, А.В. КОНОВАЛОВ, А.С. ПРЫТКОВ,
Н.Ф. ВАСИЛЕНКО, Д.А. САФОНОВ, А.Г. КОЛОМИЕЦ,
М.А. СЕРОВ, В.В. ПУПАТЕНКО, С.П. КОРОЛЕВ,
А.Л. ВЕРХОТУРОВ, В.С. ЖИЖЕРИН, К.С. РЯБИНКИН

Единая сеть геодинимических наблюдений ДВО РАН: становление, десять лет развития, основные достижения

Обсуждается проблема современной геодинимики Дальневосточного региона на основе мониторинга разномасштабных деформаций и сейсмичности в области сочленения Евразийской, Североамериканской, Тихоокеанской, Амурской и Охотской литосферных плит с применением современных методов космической геодезии и широкополосной сейсмологии. Дан краткий обзор этапов развития Единой сети геодинимических наблюдений ДВО РАН, основных результатов сейсмологических и GPS/ГЛОНАСС-наблюдений, полученных в рамках целевой комплексной программы научных исследований ДВО РАН «Современная геодинимика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России (2009–2013 гг.)» и проектов ДВО РАН 2014, 2018, 2019 гг., а также достигнутых позиций ДВО РАН в области геодинимики.

Ключевые слова: геодинимика, деформация земной коры, литосферные плиты, космическая геодезия, сейсмология, землетрясения, восток Евразии, архивы данных, информационная система.

Unified observation network for geodynamic monitoring in FEB RAS: formation, 10 years of development and major achievements. V.G. BYKOV¹, N.V. SHESTAKOV^{2, 3}, M.D. GERASIMENKO^{2, 3}, A.A. SOROKIN⁴, A.V. KONOVALOV⁵, A.S. PRYTKOV⁶, N.F. VASILENKO⁶, D.A. SAFONOV⁶, A.G. KOLOMIETS², M.A. SEROV⁷,

*БЫКОВ Виктор Геннадьевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, ПУПАТЕНКО Виктор Викторович – кандидат технических наук, заместитель директора, РЯБИНКИН Константин Сергеевич – младший научный сотрудник (Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН, Хабаровск), ШЕСТАКОВ Николай Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой, ГЕРАСИМЕНКО Михаил Данилович – доктор технических наук, руководитель научно-исследовательской группы, профессор (Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), СОРОКИН Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, временно исполняющий обязанности директора, КОРОЛЕВ Сергей Павлович – научный сотрудник, ВЕРХОТУРОВ Андрей Леонидович – научный сотрудник (Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск), КОНОВАЛОВ Алексей Валерьевич – кандидат физико-математических наук, директор (Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Южно-Сахалинск), ПРЫТКОВ Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, ВАСИЛЕНКО Николай Федорович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, САФОНОВ Дмитрий Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск), КОЛОМИЕЦ Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник (Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток), СЕРОВ Михаил Александрович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ЖИЖЕРИН Владимир Сергеевич – младший научный сотрудник (Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск). *E-mail: bykov@itig.as.khb.ru

Работа выполнена в рамках государственных заданий институтов ДВО РАН, в которых работают авторы статьи, и при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект 18-5-024).

V.V. PUPATENKO¹, S.P. KOROLEV⁴, A.L. VERKHOTUROV⁴, V.S. ZHIZHERIN⁷, K.S. RYABINKIN¹ (¹Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk, ²Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok, ³Far Eastern Federal University, Vladivostok, ⁴Computing Center, FEB RAS, Khabarovsk, ⁵Sakhalin Branch of the Far East Geological Institute, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, ⁶Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, ⁷Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS, Blagoveshchensk).

The problem of the recent geodynamics of the Far East region is discussed based on monitoring of different-scale deformations and seismicity in the articulation of Eurasian, North American, Pacific, Amurian and Okhotsk lithospheric plates using modern methods of space geodesy and broadband seismology. We present a brief overview of the development stages of the Unified Network of Geodynamic Observations of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, the main results of seismological and GPS/GLONASS observations obtained within the framework of the Targeted Comprehensive Research Program of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences for 2009–2013 «Recent geodynamics, active geological structures and natural hazards of the Far East of Russia», Projects of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (2014, 2018, 2019) and the achievements of FEB RAS in the field of geodynamics.

Key words: geodynamics, deformation of the earth's crust, lithospheric plates, space geodesy, seismology, earthquakes, eastern Eurasia, data archives, information system.

Введение

В России и за рубежом одним из наиболее актуальных направлений в науках о Земле является изучение современной геодинамики и новейшей тектоники поясов повышенной сейсмической активности. Это связано с исследованием проблем тектоники плит и необходимостью разработки геодинамических основ сейсмического районирования.

Организация измерительной и информационно-вычислительной инфраструктуры мирового уровня с Применением современных технических средств наблюдений (космическая геодезия, широкополосная сейсмология, радиолокационная съемка рельефа) и создание методик обработки инструментальных данных, основанных на современных информационно-вычислительных технологиях, открыло новые возможности для разработки целостной концепции современной геодинамической активности Дальнего Востока России, являющейся фундаментальной основой моделирования и прогнозирования катастрофических землетрясений, извержений вулканов, цунами и связанных с ними природных явлений и процессов.

Началом формирования такой инфраструктуры – Единой сети геодинамических наблюдений (ЕСГН) ДВО РАН – можно считать выполнение в 2006–2008 гг. институтами ДВО РАН (Институтом вулканологии и сейсмологии – ИВиС, Институтом геологии и природопользования – ИГиП, Институтом морской геологии и геофизики – ИМГиГ, Институтом прикладной математики – ИПМ, Институтом тектоники и геофизики – ИТиГ), СО РАН (Институтом земной коры – ИЗК, Институтом нефтегазовой геологии и геофизики – ИНГГ) и Камчатским филиалом Геофизической службы (ГС) РАН мероприятий в рамках интеграционного проекта «Геодинамическая модель взаимодействия Евразийской, Североамериканской и Тихоокеанской литосферных плит на Северо-Востоке Азии» (проект ДВО РАН 06-П-СО-08-030). Инициаторами проекта выступили академики С.В. Гольдин (СО РАН) и А.И. Ханчук (ДВО РАН).

Главная задача интеграционного проекта заключалась в исследовании современных движений в области сочленения Евразийской, Североамериканской, Тихоокеанской, Амурской и Охотской литосферных плит методами сейсмологии и космической геодезии (GPS/ГЛОНАСС-наблюдений). Для эффективного решения этой задачи были организованы новые пункты наблюдений в континентальной части и окраинных областях Дальневосточного региона, разрозненные GPS/ГЛОНАСС-данные объединены в единую систему с целью совместной обработки результатов измерений.

К завершению интеграционного проекта ДВО и СО РАН в 2008 г. объединенная региональная GPS/ГЛОНАСС-сеть включала 60 периодических и постоянных пунктов из 120, расположенных на территории Дальнего Востока и Сибири [1]. Исследованиями

институтов ДВО РАН и Камчатского филиала ГС РАН была охвачена огромная территория Дальневосточного региона: Еврейская автономная и Амурская области, Приморский и Хабаровский края, Камчатский край и Сахалинская область, включая Командорские и Курильские острова. На основе измерений получены новые данные для расчета движений и деформаций во внутренней части Евразийской плиты и в области сочленения Евразийской, Североамериканской, Тихоокеанской, Амурской и Охотской литосферных плит, которые дополнили представления о современной геодинамике на территории Дальнего Востока России.

Дальнейшее развитие в ДВО РАН этого направления исследований стало возможно только после принятия специальной программы. При этом изначально полагалось, что реализация такой программы может быть полностью осуществлена при условии организации ЕСГН ДВО РАН, объединении уже имеющихся GPS/ГЛОНАСС-данных академических институтов и их целенаправленной совместной обработки по единой методике.

Целевая комплексная программа (ЦКП) научных исследований ДВО РАН «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России (2009–2013 гг.)» была утверждена 2 февраля 2009 г. постановлением президиума ДВО РАН. Научным руководителем программы был назначен академик А.И. Ханчук, координатором по взаимодействию между ДВО РАН и ГС РАН – академик Е.И. Гордеев. Организации-исполнители программы – ВЦ, ИГиП, ИМГиГ, ИПМ, ИТиГ, СВКНИИ ДВО РАН.

Цель программы – разработка и применение современных методов исследований движений блоков земной коры, глубинных структур коры и верхней мантии на основе мониторинга разномасштабных деформаций и сейсмичности в области сочленения Североамериканской, Тихоокеанской, Амурской и Охотской литосферных плит.

Предполагалось, что совместный анализ сейсмичности, результатов GPS/ГЛОНАСС-наблюдений и морфоструктурных данных на основе ГИС-технологий позволит наилучшим образом отразить развитие новейших тектонических процессов и приблизиться к решению проблемы прогноза природных опасностей.

Программа включала четыре блока:

Блок 1. Деформационные процессы в земной коре (GPS/ГЛОНАСС-наблюдения).

Блок 2. Сейсмичность (проблемы сейсмичности и оценки сейсмической опасности на территории Дальневосточного региона).

Блок 3. Современная динамика литосферы, неотектоника (напряженное состояние, активные разломы и модели геоструктур на разных глубинных уровнях).

Блок 4. Разработка геоинформационной системы «Современная геодинамика Дальнего Востока России» и анализ на основе ГИС-технологий катастрофических явлений в регионе (землетрясения, цунами, извержения вулканов).

Необходимо подчеркнуть, что ЦКП «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России (2009–2013 гг.)» – это первая за всю историю ДВО РАН программа, которая объединила усилия коллективов из разных институтов для получения новых количественных оценок скоростей современных движений земной поверхности и разработки целостной концепции современной геодинамической активности Дальнего Востока России.

В ходе выполнения Программы были организованы:

- 1) единая сеть сейсмологических и деформационных наблюдений ДВО РАН,
- 2) система сбора, передачи, хранения и обработки данных GPS/ГЛОНАСС-измерений,
- 3) система сбора и хранения сейсмологических данных,
- 4) постоянно пополняющийся архив геодезических и сейсмологических данных ЕСГН ДВО РАН.

Для управления средствами инструментальных наблюдений, систематизации и обработки полученных данных была разработана автоматизированная информационная система «Сигнал» (АИС «Сигнал») [13].

Результаты организационно-технических мероприятий программы

Первоочередные организационно-технические мероприятия программы были направлены на выполнение следующих задач: организация и модернизация пунктов ЕСГН ДВО РАН; сбор, передача, хранение и обработка геодезических и сейсмологических данных; разработка специализированных компьютерных систем и сервисов.

Организация пунктов ЕСГН ДВО РАН

При организации ЕСГН ДВО РАН максимально использовался опыт и наработки сейсмологов Камчатского и Сахалинского филиалов ГС РАН. Главная задача начального этапа программы заключалась в размещении, подготовке к регистрации, отладке и запуске в эксплуатацию современной измерительной аппаратуры: цифровых широкополосных сейсмических станций REF TEK SENS-BBS-120 и двухчастотных геодезических GPS/ГЛОНАСС(ГНСС)-приемников (система Trimble NetR5) на территории Дальнего Востока. Для корректного размещения измерительного оборудования по решению Научного совета ЦКП в Институте тектоники и геофизики ДВО РАН 14–15 апреля 2009 г. был проведен семинар «Организация GPS/ГЛОНАСС и сейсмологических наблюдений ДВО РАН. Сбор, передача, обработка и хранение данных», на котором обсуждались наиболее актуальные методические и технические вопросы, связанные с развертыванием сети деформационных и сейсмологических наблюдений, паспортизацией пунктов наблюдений.

В результате было организовано 14 постоянных пунктов геодезических и сейсмических наблюдений, 10 систем применялись при измерениях в пунктах периодической регистрации по профилям Благовещенск–Сутара, Хабаровск–Лидога–Ванино и в качестве



Рис. 1. Карта размещения GPS и сейсмических станций. GPS/ГЛОНАСС и сейсмические станции REF TEK SENS-BBS-120 установлены в 2009–2010 гг., сеймостанции DATAMARK LS7000XT, STS-2 и L-4C-3D – в 2006–2009 гг. при реализации российско-японского проекта «Исследование сеймотектоники Охотоморской плиты»

резервных комплектов. Местоположение GPS/ГЛОНАСС и сейсмических станций, установленных в 2009–2013 гг. при выполнении программы и в последующие годы, показано на рис. 1.

Установка в стационарных пунктах наблюдения широкополосных сейсмических и ГНСС-станций осуществлена с целью исследования колебаний и движений земной коры в широком частотном диапазоне – от высокочастотных колебаний до вековых движений. Аппаратура комплексных пунктов геодинимических наблюдений позволяет регистрировать колебания и смещения в диапазоне периодов начиная от 0,05 с и более. В дальнейшем регистрация сильнейшего землетрясения Тохоку 2011 г. и его афтершоков подтвердила правильность принятого подхода при создании ЕСГН ДВО РАН [4, 20].

Организация системы сбора, обработки и хранения геодезических и сейсмологических данных

В 2009 г. для централизованного сбора и обработки данных спутниковых измерений в ИПМ ДВО РАН был создан единый геодезический Информационно-аналитический центр (ИАЦ), оснащенный оборудованием и программными средствами для получения, хранения и обработки информации. Организация центра включала разработку, тестирование и введение в эксплуатацию специализированного программного обеспечения для автоматизированного сбора, накопления и систематизации данных ГНСС-наблюдений в пунктах сети Международной геодезической службы (IGS) и другой информации, необходимой для прецизионной математической обработки данных измерений, поступающих в центр из пунктов ЕСГН ДВО РАН. Кроме того, были разработаны методика и программное обеспечение для учета априорной информации о параметрах сезонных вариаций при оценке среднегодовых скоростей смещений ГНСС-пунктов с малым количеством наблюдений. Данный метод позволяет в ряде случаев существенно повысить точность и достоверность предварительных оценок скоростей смещений геодезических пунктов.

В 2011 г. на базе центра коллективного пользования «Центр данных ДВО РАН» (ВЦ ДВО РАН) было начато формирование второго центра данных ЕСГН ДВО РАН [22]. Для этого были проведены работы по синхронизации накопленной исходной инструментальной информации ЕСГН ДВО РАН и результатов ее обработки.

Начиная с 2012 г. вся измерительная информация поступает непосредственно в ВЦ ДВО РАН, а резервный архив ведется в ИАЦ ИПМ ДВО РАН. На регулярной основе в автоматическом режиме осуществляются сбор данных, их систематизация и специализированная обработка. Для этого используются авторские алгоритмы и пакеты прикладных программ сторонних разработчиков (BERNESE и др.).

Центр сбора сейсмологических данных был развернут в 2012 г. на базе ВЦ ДВО РАН при активном участии специалистов ИМГиГ ДВО РАН. На первом этапе были разработаны программные средства, обеспечивающие контроль качества передаваемой инструментальной информации и выявление технических сбоев при передаче данных. Следующим этапом стало создание универсальной программной платформы для управления ресурсами сетей геодинимических наблюдений ДВО РАН, специализированной обработки и анализа получаемых данных.

Функционирование компьютерной системы такого класса для работы с данными геодезических и сейсмологических наблюдений подразумевает необходимость комплексного решения задач по ведению архивов данных, организации информационного взаимодействия с международными центрами данных для проведения численных расчетов с использованием всей доступной инструментальной информации по исследуемой территории, анализа и визуализации полученных результатов. Реализация указанных требований была осуществлена через создание специализированных компьютерных модулей и их включение в качестве отдельных тематических блоков в единую программную платформу – АИС «Сигнал». Подробное описание разработанных систем представлено в [14, 19].

Результаты исследований

На основе данных длительного сейсмологического и геодезического мониторинга крупномасштабных деформаций на Дальнем Востоке в области взаимодействия Тихоокеанского и Центрально-Азиатского поясов и их обработки с применением созданных компьютерных систем получены весьма важные научные результаты.

1. Дана общая оценка вековых скоростей смещений земной коры юга Дальнего Востока России в глобальном, региональном и локальном масштабах и уровня современной геодинамической активности крупнейших тектонических структур Приморья и Хабаровского края (рис. 2) [21]. Юг континентальной части исследуемой территории (Приморский и Хабаровский края, Амурская область) характеризуется малыми (менее 5 мм/год) скоростями смещения станций северо-восточного и юго-восточного простираний относительно Евразии с незначительным доминированием восточной компоненты. Скорости и направления смещений ГНСС-пунктов, расположенных в пределах Приморского, Хабаровского краев и Сахалинской области, определенные относительно Евразийской плиты, позволяют сделать вывод о существовании между континентом и Сахалином границы скоростей. Смещения пунктов, расположенных на о-ве Сахалин, ориентированы в западном направлении, тогда как в скоростях континентальных ГНСС-пунктов доминирует восточная компонента (рис. 3). Этот результат соответствует субширотному сжатию западной части острова и бассейна Японского моря, что находит свое отражение в повышенной мелко- и среднефокусной сейсмичности. Анализ поля скоростей пунктов сети, расположенных в Приморском и Хабаровском краях, и проведенное моделирование показали незначительную современную геодинамическую активность Центрального Сихотэ-Алинского разлома.

2. Впервые на территории России инструментально зарегистрированы и оценены качественно и количественно горизонтальные косейсмические смещения земной коры, инициированные землетрясением Тохоку, произошедшим 11 марта 2011 г. ($M_w = 9,0$). Полученные данные применены для построения модели очага землетрясения и демонстрации

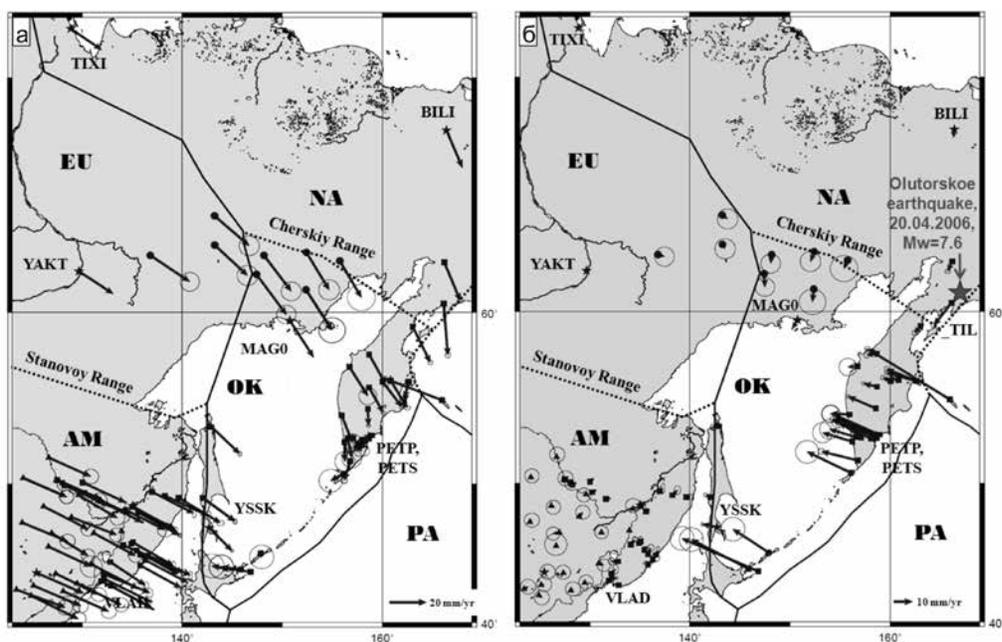


Рис. 2. Скорости смещения станций Дальнего Востока России в период наблюдений 1997–2009 гг. в системе координат ITRF2008 (а) и относительно Евразии (б). Тектонические плиты: Евразийская – EU, Североамериканская – NA, Тихоокеанская – PA, Амурская – AM, Охотская – OK

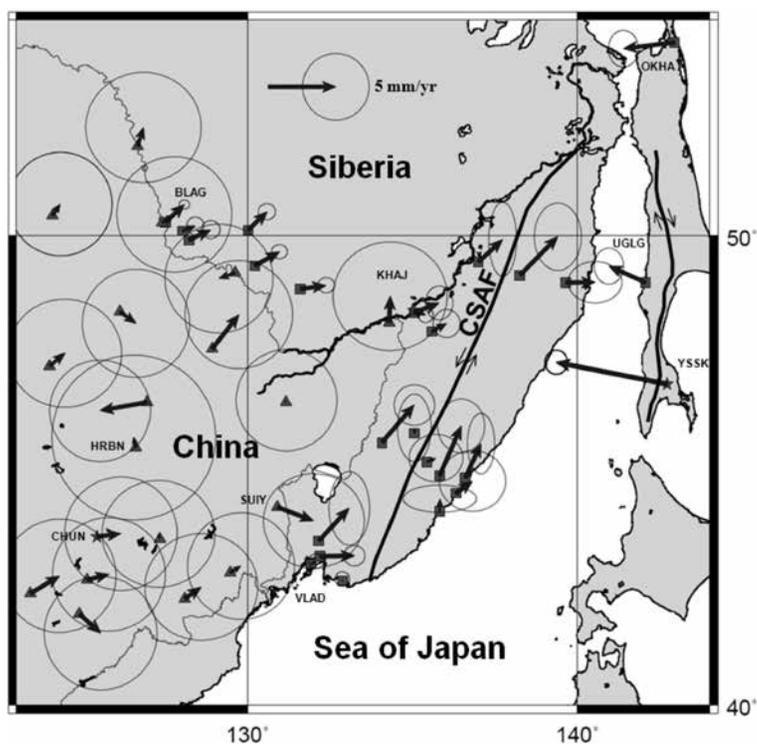


Рис. 3. Скорости смещения станций юга Дальнего Востока России в период наблюдений 1997–2009 гг. относительно Евразии (граница скоростей между континентом и о-вом Сахалин)

возможности их использования для создания системы краткосрочного предупреждения о цунами [4, 20].

На основе GPS/ГЛОНАСС-измерений рассчитаны горизонтальные косейсмические смещения на обширной территории Дальнего Востока на расстояниях до 2300 км от эпицентра землетрясения Тохоку (рис. 4). Установлено, что область самых интенсивных ко- и постсейсмических деформаций в дальней зоне с максимальными значениями соответственно 40 и 18 мм (первые месяцы после землетрясения) простирается на запад от о-ва Хонсю до Корейского полуострова, северо-востока Китая и юга Дальнего Востока России. Величины косейсмических смещений в континентальной части Дальнего Востока России достигали максимальных значений (около 4–5 см) на юге Приморья и уменьшались к северу от него (рис. 5). Косейсмические смещения земной поверхности также были зафиксированы пунктами Сахалино-Курильского участка ЕСГН ДВО РАН: максимальная величина смещения до 10 мм отмечена на станции KUNA (о-в Кунашир, г. Южно-Курильск).

Кроме того, впервые инструментально зарегистрированы и оценены количественно и качественно вертикальные постсейсмические движения земной коры, инициированные землетрясением Тохоку [3]. Современные вертикальные движения земной коры на юге Приморского края носят знакопеременный характер и зависят от геодинамических процессов в зоне субдукции, расположенной к востоку от Японских островов, что может служить долгосрочным предвестником катастрофических землетрясений в этой зоне. После землетрясения Тохоку по результатам непрерывных наблюдений с марта 2011 г. по январь 2014 г. обнаружены постсейсмические вертикальные движения в пределах нескольких миллиметров на расстояниях около 1000 км от эпицентра. Вертикального косейсмического скачка в момент землетрясения, в отличие от горизонтального, не обнаружено. Знак

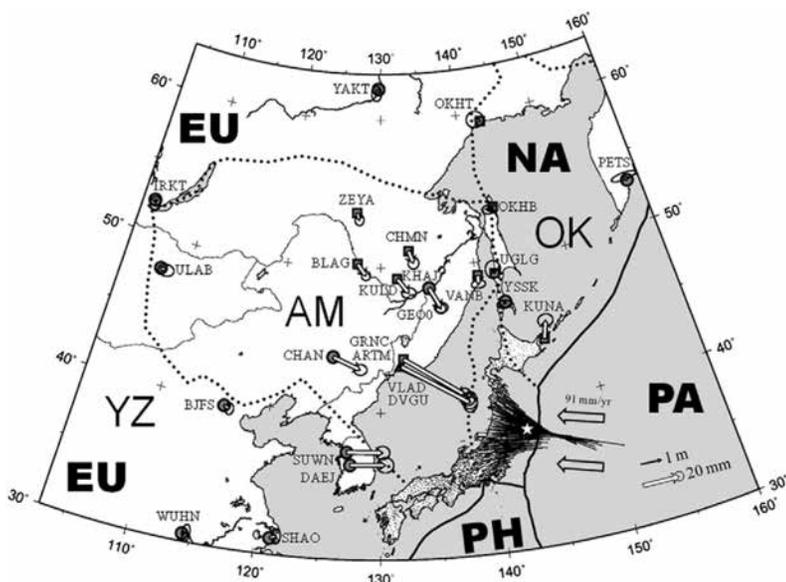


Рис. 4. Расположение GPS/ГЛОНАСС-пунктов непрерывной регистрации и наблюдаемые косейсмические смещения, вызванные землетрясением Тохоку. Эллипсы ошибок соответствуют 95 % вероятности. IGS-станции показаны серыми кружками, GPS-станции ДВО РАН – серыми квадратиками, станции ARTM и DVGU, обслуживаемые ДВФУ и ПриморАГП, – серыми треугольниками. Белая звезда – положение эпицентра землетрясения по данным JMA. Тектонические плиты: Евразийская – EU, Североамериканская – NA, Тихоокеанская – PA, Филиппинская – PH, Амурская – AM, Охотская – ОК, Янцзы – YZ. Границы главных плит обозначены сплошной черной линией, предполагаемых микроплит – точечной. Относительная скорость схождения PA/EU плит в районе землетрясения составляет 91 мм/год (вычислена согласно модели MORVEL-1A [17])

наклона земной поверхности после землетрясения изменился на обратный, что подтверждает взаимосвязь возможных вертикальных движений в дальней зоне и процессов в зоне субдукции.

Методом инверсии оценок косейсмических смещений GPS-пунктов в дальней зоне была построена дислокационная модель очага землетрясения Тохоку в виде плоскости разрыва размерами 200×96 км (угол простираия 207° , угол падения 15°) с равномерным смещением по ней величиной 33 м по направлению 105° . Сейсмический момент оценен величиной $1,9 \cdot 10^{22}$ Н·м. Показано, что главная часть сейсмического момента была реализована в разрыве относительно малого размера. Построенная модель объясняет косейсмические горизонтальные смещения как в дальней, так и в ближней зонах.

Исследования показали, что при использовании данных GPS-наблюдений в дальней зоне можно получать ценную информацию о поле смещений земной коры и оперативно с высокой точностью оценивать параметры удаленного землетрясения, что крайне важно для создания системы краткосрочного предупреждения о разрушительных цунами.

Проведен сравнительный анализ волновых форм землетрясения Тохоку, полученных сейсмологическим и геодезическим методами. Разработана методика получения ГНСС и сейсмических записей с одинаковыми амплитудно-частотными характеристиками, и на этой основе установлено хорошее согласие волновых форм землетрясения Тохоку, зафиксированных в пунктах Ванино (VANB), Горнотаежное (GRNB), Хабаровск (GEO0) ЕСТН ДВО РАН. Амплитуды и фазы колебаний в диапазоне частот от 0,004 до 0,1 Гц практически совпадают, их различие не превышает ошибки определения положения GPS/ГЛОНАСС-приемника. Это может служить основанием широкого применения ГНСС в сейсмологии,

а также при дальнейшем изучении совместного использования геодезических и сейсмических данных [10].

Недавно совместно с коллегами из Института прогнозирования землетрясений (КНР) было оценено влияние длительного деформирования, вызванного сильными землетрясениями в зоне субдукции Северо-Восточной Азии, на поле перемещений в дальней зоне. Исследование постсейсмических смещений, вызванных землетрясением Тохоку 2011 г., показало, что в течение 7 лет максимальное значение постсейсмических перемещений превысило 90 мм. Получены характеристики поля постсейсмических деформаций юга Дальнего Востока России и сопредельных территорий. На основе реологической модели Максвелла даны новые оценки вязкости астеносферы Япономорского региона – порядка $(1,5-2,3) \cdot 10^{18}$ Па·с [23].

3. Впервые методами спутниковой геодезии удалось зафиксировать и изучить распределение косейсмических смещений, вызванных мощным глубокофокусным сейсмическим событием – Охотоморским землетрясением ($M_w = 8,3$), произошедшим 24 мая 2013 г. [16]. Для получения косейсмических смещений земной коры использовались данные непрерывных ГНСС-наблюдений с шагом дискретизации 30 с в пунктах ЕСГН ДВО РАН, Камчатской GPS-сети ГС РАН, сети Международной GNSS службы (IGS) и самом северном пункте Японской национальной геодинамической сети GEONET – Wakkanai.

Максимальные величины горизонтальных подвижек достигают 15 мм (пункт MIL1), вертикальных смещений – 19 мм (станция АРСН) (рис. 6, а). Как видно из рисунка, уверенно регистрируемые ГНСС-методами горизонтальные косейсмические движения земной

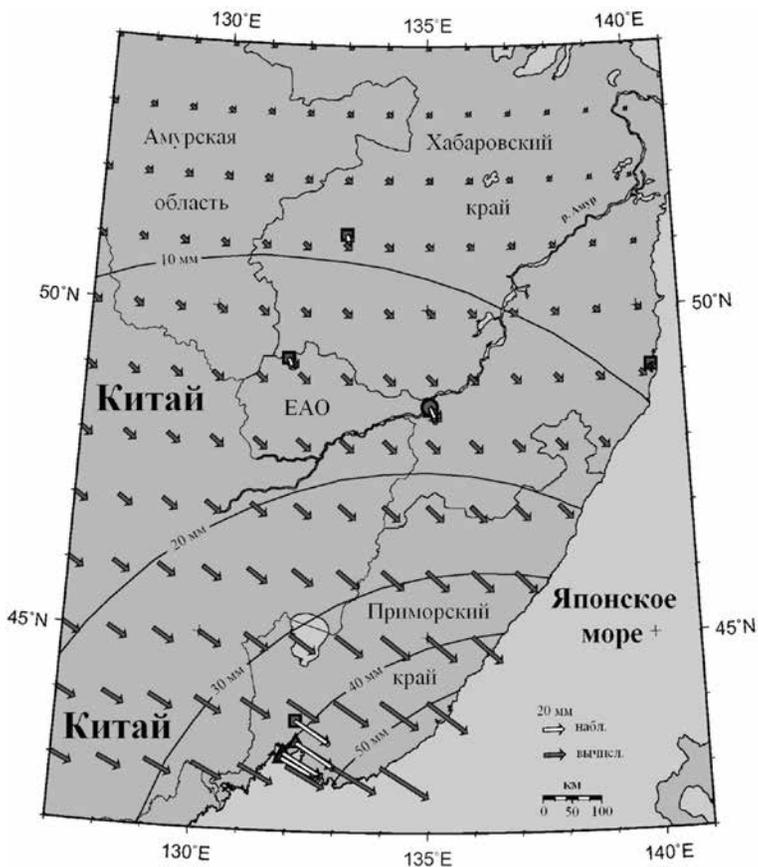


Рис. 5. Горизонтальные косейсмические смещения земной коры, инициированные землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г., вычисленные в узлах регулярной сетки с шагом $1^\circ \times 1^\circ$ (темные стрелки)

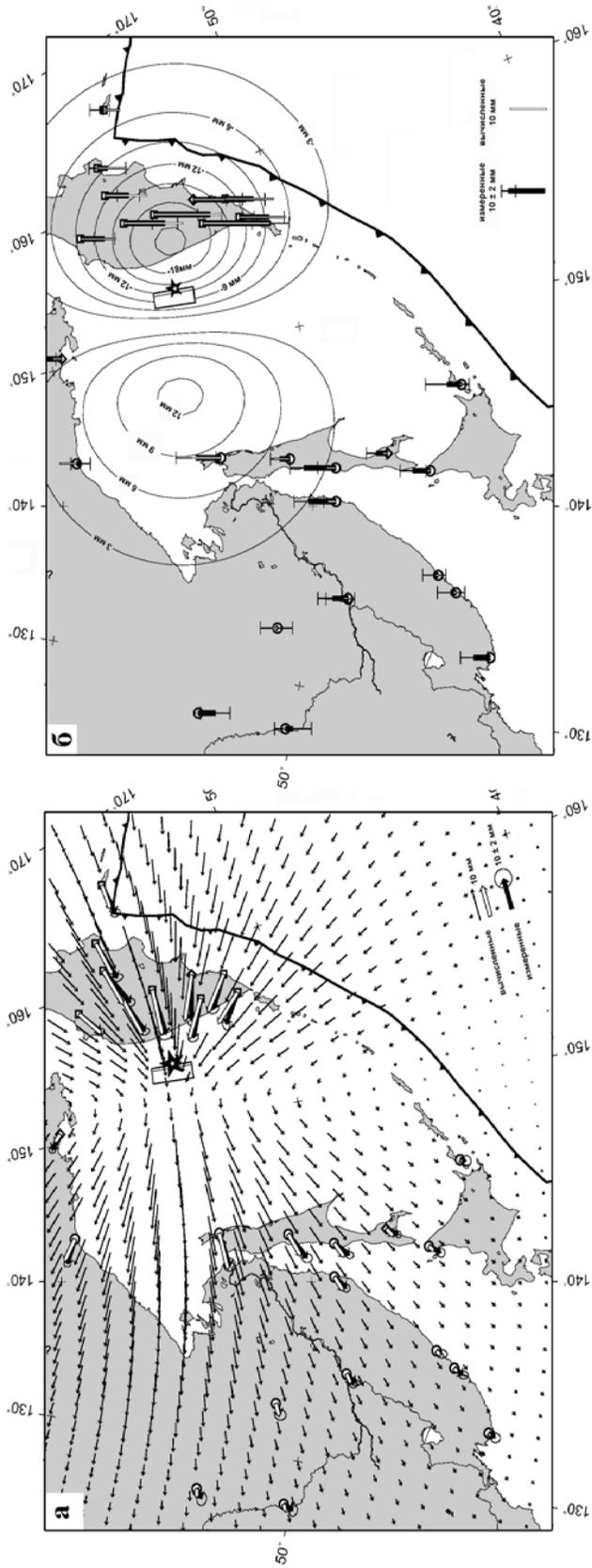


Рис. 6. Измеренные и вычисленные косейсмические смещения земной коры, инициированные глубоководным Охотоморским землетрясением 24.05.2013 г. *a* – величины и направления горизонтальных подвижек вместе с их 1- σ эллипсами ошибок; *b* – амплитуды вертикальных смещений (столбики и изолинии). Изолиниями показано поле вычисленных подвижек. Звездочкой обозначено положение эпицентра главного толчка $M_w = 8.3$. Прямоугольником изображена проекция модельной плоскости сейсморазрыва на поверхность Земли, верхний край плоскости отмечен двойной чертой

коры охватили практически все побережье Охотского моря, п-ов Камчатка, о-в Сахалин, побережье Татарского пролива. Вертикальные подвижки (рис. 6, б) наиболее выражены в данных на п-ове Камчатка (опускание) и северной половине о-ва Сахалин (поднятие).

Анализ временных рядов станций за несколько месяцев после Охотоморского землетрясения не выявил заметных постсейсмических смещений, что может быть объяснено как большой глубиной очага землетрясения, так и физическими свойствами Тихоокеанской литосферной плиты, в пределах которой локализован сейсморазрыв.

По данным о косейсмических смещениях в 27 пунктах наблюдений, расположенных на расстояниях 300–1100 км от эпицентра, и на основе имеющейся сейсмологической информации построена дислокационная модель очага Охотоморского землетрясения. Сейсморазрыв представлен единственной наклонной плоскостью с однородным смещением (механизм очага – сброс).

На рис. 6 показаны поля горизонтальных и вертикальных косейсмических смещений, рассчитанных с использованием оптимальной модели, соответствующей минимальным невязкам наблюденных и вычисленных смещений. Результаты моделирования удовлетворительно качественно и количественно объясняют наблюдаемые косейсмические смещения и накладывают ограничения на размеры очага землетрясения. Имеющиеся отклонения вычисленных и измеренных векторов подвижек могут быть объяснены прежде всего использованием упрощенной модели очага – наклонной плоскостью с однородным смещением – и выбранными физическими параметрами среды.

Таким образом, впервые на основе GPS/ГЛОНАСС-наблюдений определены фокальный механизм и сейсмический момент уникального сейсмического события – сильнейшего за всю историю инструментальной сейсмологии глубокофокусного Охотоморского землетрясения ($M_w = 8,3$), произошедшего 24 мая 2013 г. вблизи западного побережья Камчатки [16].

4. Рассмотрены различные модели схождения Североамериканской (Охотской) и Евразийской литосферных плит, граница которых представлена системой главных субмеридиональных разломов о-ва Сахалин. Для южной, центральной и северной частей островной суши получены первые оценки глубины зоны механического контакта (каплинга) литосферных плит, характеризующие сейсмический потенциал районов исследования [2].

Для анализа межсейсмических скоростей деформирования земной поверхности о-ва Сахалин использованы данные GPS/ГЛОНАСС-наблюдений в пунктах региональных геодинимических сетей и данные станций ЕСГН ДВО РАН, расположенных на острове. Межсейсмические скорости горизонтальных смещений земной поверхности о-ва Сахалин вычислены относительно Евразийской плиты (рис. 7). Скорости пунктов увеличиваются с запада на восток, достигая максимальных значений около 9 мм/год на юге, 6 мм/год – в центре и 5 мм/год – на севере острова. Векторы скоростей имеют субширотное направление, практически перпендикулярное плитовой границе.

Деформации земной поверхности северной части острова наилучшим образом согласуются с модельным решением для границы литосферных плит, проходящей по Северо-Сахалинскому разлому. Скорость схождения плит – 7,8 мм/год при глубине каплинга около 13 км. Методика вычисления глубины каплинга подробно представлена в [9]. Для центральной части о-ва Сахалин наиболее корректна модель в виде границы с двумя разломами – Центрально-Сахалинским и Западно-Сахалинским. Скорость схождения плит для этого района составляет 8,0 мм/год, глубина зоны механического контакта обоих разломов 30–40 км. На юге острова наилучшее согласование измеренных и модельных скоростей получено для границы плит, представленной двумя разломами – Центрально-Сахалинским и Западно-Сахалинским. Относительно Евразии скорость схождения плит составляет 10,2 мм/год при глубине каплинга ~20 км.

На основе межсейсмических скоростей выполнено моделирование деформированного состояния земной поверхности севера, центральной части и юга о-ва Сахалин. Преобладающим деформационным режимом является сжатие островной суши, однако

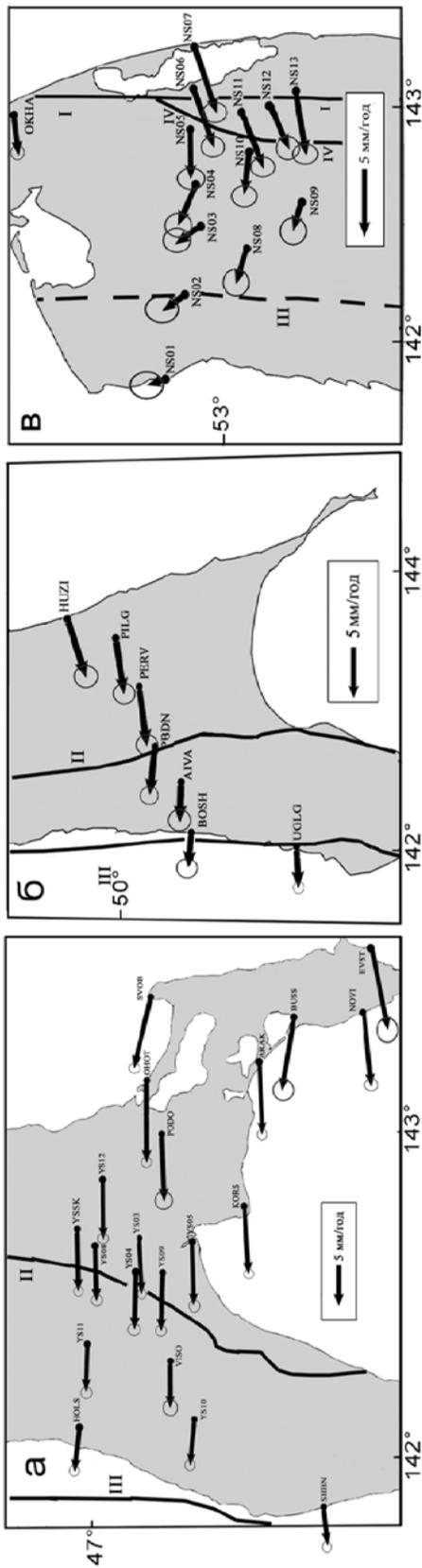


Рис. 7. Межсейсмические GPS-скорости горизонтальных деформаций земной поверхности о-ва Сахалин относительно Евразийской литосферной плиты. а – юг острова (период наблюдений 1999–2009 гг.); б – центральная часть острова (2000–2005 гг.); в – север острова (2003–2006 гг.). Разломы: I – Северо-Сахалинский, II – Центрально-Сахалинский, III – Западно-Сахалинский, IV – Верхнепильгунский, вскрывшийся в результате Нефтегорского землетрясения 1995 г. ($M_w = 7,0$)

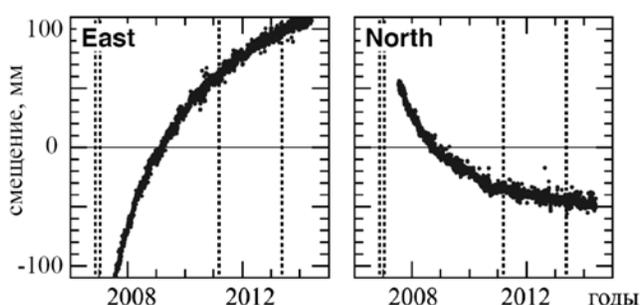
пространственное распределение деформаций неоднородно. Сокращение земной коры происходит в основном в субширотном, юго-западном и северо-восточном направлениях. Наряду со сжатием на севере и в центральной части острова выделяются области интенсивных деформаций правостороннего сдвига. Региональная геодинамическая обстановка находит отражение в сейсмичности острова: в районах интенсивного деформирования земной поверхности проявляется повышенная сейсмическая активность последних лет, тогда как области низких скоростей деформаций коррелируют с зонами слабой и разреженной сейсмичности [8].

Установлен характер современного каплинга Тихоокеанской и Охотской литосферных плит. В эпицентральной зоне дуплета Симуширских землетрясений 2006 г. ($M_w = 8,3$) и 2007 г. ($M_w = 8,1$) уже в течение нескольких лет идет затухающий процесс постсейсмической релаксации. Скорости релаксации в центральной части Курильской островной дуги, в отличие от севера и юга, направлены в сторону глубоководного желоба. Непосредственно после Симуширских землетрясений они достигали 10 см/год, а затем ежегодно уменьшались на 30 % [9]. В 2012 г. скорости релаксации снизились до 2,5 см/год (рис. 8), что соответствует продолжению изменения геометрии сцепления Тихоокеанской и Охотской литосферных плит и увеличению вязкости астеносферы в этом районе от 2×10^{17} Па·с в 2007 г. до 10^{18} Па·с в 2009 г. [18].

Установлено, что скорости постсейсмической релаксации направлены в сторону глубоководного желоба. Сцепление Тихоокеанской и Североамериканской (Охотской) литосферных плит отсутствует в центральной части дуги от о-ва Харимкотан до о-ва Уруп.

Результаты исследований дают уникальные инструментальные сведения о современной геодинамике Сахалино-Курильского региона.

Рис. 8. Графики среднесуточной повторяемости координат станции о-ва Кетой (Курильские острова) (см. рис. 1). Вертикальный пунктир – даты дуплета Симуширских землетрясений 15.11.2006 г. ($M_w = 8,3$) и 13.01.2007 г. ($M_w = 8,1$), землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M_w = 9,1$), Охотского глубокофокусного землетрясения 24.05.2013 г. ($M_w = 8,3$)



5. На основе инструментальных наблюдений ЕСГН ДВО РАН определен механизм очага Уангского землетрясения ($M_w = 5,8$), произошедшего 16 марта 2010 г. на северо-западе Сахалина в верховьях рек Уанга и Погиби (рис. 9). По данным макросейсмического обследования, землетрясение ощущалось на значительной части территорий Северного Сахалина и Приамурья. Анализ инструментальных данных позволил провести комплексное исследование сейсмического режима в эпицентральной зоне Уангского землетрясения: определить конфигурацию и размеры очаговой зоны, выявить особенности пространственно-временного формирования афтершоковой серии землетрясений, смоделировать поведение сейсмического процесса в очаговой зоне.

Установлено, что землетрясение с подвижкой взбросо-сдвигового типа произошло в условиях субширотного сжатия, что в целом хорошо согласуется с современными представлениями о характере деформирования в пределах Северного Сахалина. При основном толчке 16 марта 2010 г. разрыв в очаге произошел по плоскости, ориентированной субмеридионально, а вспарывание разрыва происходило с юга на север. Протяженность области афтершоков составила приблизительно 30 км [6].

6. Исследованы характер напряженного состояния и поле упругих напряжений в земной коре о-ва Сахалин на основе материалов, полученных по результатам определений механизмов очагов сильных землетрясений и их афтершоков [7]. Получены представительные данные о наиболее вероятном направлении подвижек в очагах сильных землетрясений с привязкой к активным геологическим структурам региона. Результаты последних исследований новейшей тектоники региона сопоставлены с характером и параметрами сейсмодислокаций сахалинских землетрясений.

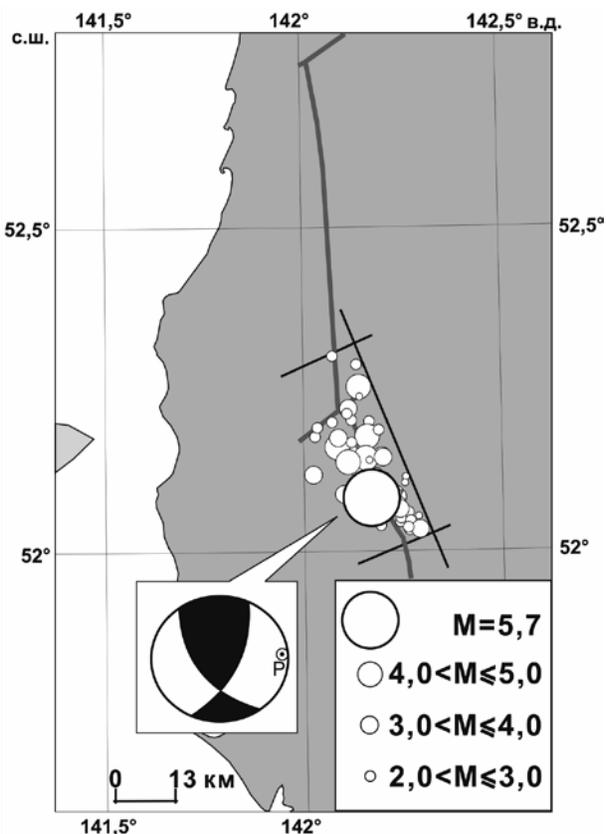


Рис. 9. Положение эпицентра главного толчка Уангского землетрясения 16.03.2010 г. ($M_w = 5,8$), облака афтершоков и сегмента разломной зоны. На врезке показан механизм очага землетрясения в нижней проекции фокальной полусферы

Изучение параметров сахалинских землетрясений и их сопоставление с пространственной структурой афтершокового режима позволили получить новые данные о механизмах возникновения землетрясений и кинематических характеристиках процесса вспарывания разрывов в широком диапазоне магнитуд. Для этого было проведено детальное исследование очаговых зон сильных сахалинских землетрясений, выполнено переопределение положения очагов землетрясений на современном уровне и проанализирована совокупность параметров сейсмодислокаций. Кроме того, осуществлена сеймотектоническая привязка очагов землетрясений к активным геологическим структурам региона.

На рис. 10 представлена уточненная сейсмогеологическая модель региона. Показано, что поле тектонических напряжений о-ва Сахалин воспроизводит главные особенности

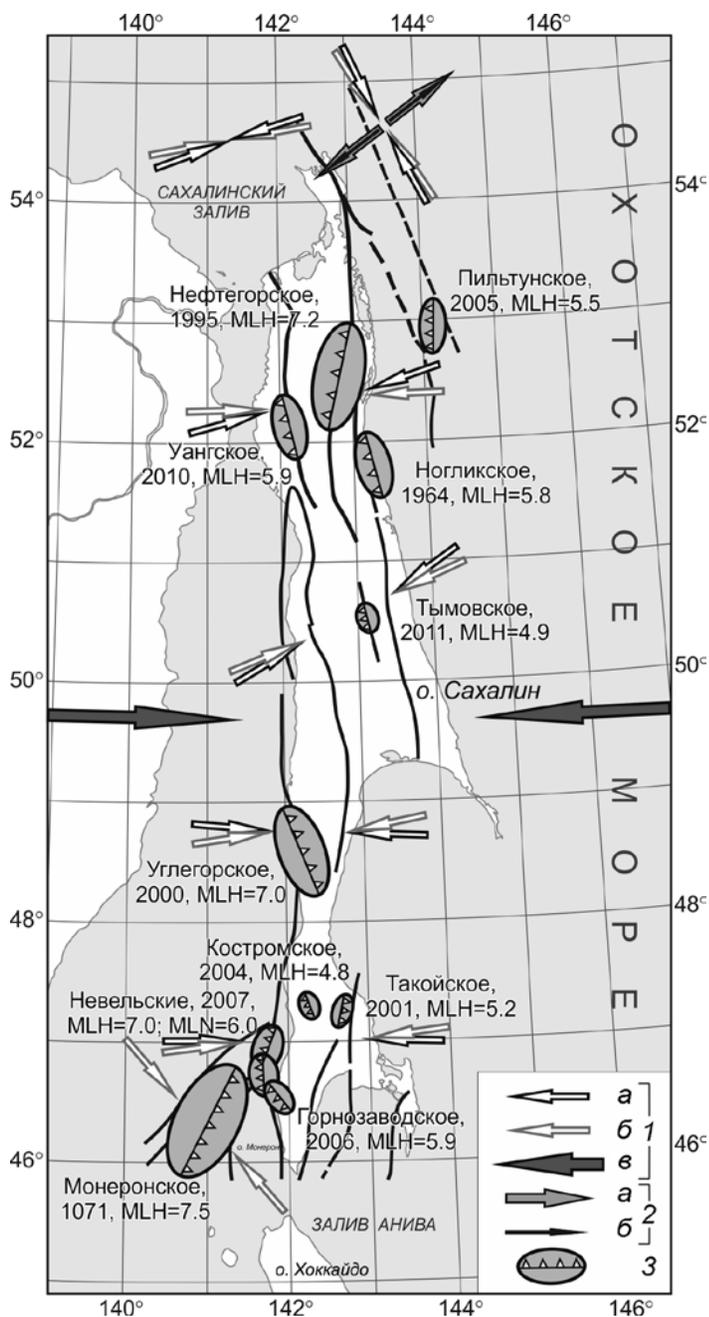


Рис. 10. Положение очаговых зон сильных землетрясений о-ва Сахалин относительно разломов различных кинематических типов и направлений регионального тензора напряжений сжатия и растяжения. 1 – оси сжатия: а – с учетом, б – без учета магнитуды, в – среднее значение напряжений сжатия региона в целом (без учета магнитуды); 2 – оси растяжения: а – с учетом, б – без учета магнитуды; 3 – очаговые зоны с рабочими плоскостями (берг-штрихами указаны направления падения плоскостей)

коровой сейсмичности. В частности, земная кора острова разделена на отдельные устойчивые в пространстве зоны с преобладанием в них субширотно либо диагонально ориентированных сжимающих напряжений. Отмечаются временные вариации поля напряжений за последние несколько сотен лет. В целом структура острова характеризуется субширотным сжатием, что согласуется с современными представлениями о процессе деформирования региона по данным геодезических наблюдений [2].

Полученные результаты имеют практическое значение при сейсмическом районировании и могут быть использованы в методике вероятностного анализа сейсмической опасности.

Необходимо заметить, что вследствие особенностей расположения сейсмической сети на о-ве Сахалин не всегда можно дать корректное определение всех очагов землетрясений. Тем не менее удалось составить максимально полный каталог механизмов очагов коровых землетрясений о-ва Сахалин за 1962–2011 гг. и механизмов афтершоков сильнейших событий. Параметры механизмов очагов были определены, проанализированы и представлены в современном унифицированном международном формате [7].

7. Выполнено комплексное исследование Сковородинского землетрясения ($M_w = 6,0$), произошедшего 14 октября 2011 г., – самого сильного сейсмического события за весь период инструментальных сейсмологических наблюдений в Верхнем Приамурье [15]. Определен механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений. В качестве исходной информации использовались инструментальные данные ЕСГН ДВО РАН, глобальной сейсмографической сети IRIS, региональных сейсмологических сетей Сахалинского и Байкальского филиалов ГС РАН. Полученное решение описывает сдвиговый механизм с субвертикальными нодальными плоскостями, одна из которых ориентирована почти строго на запад, другая – на юг (рис. 11). Исходя из пространственного распределения афтершоков и тектоники региона следует, что механизм очага Сковородинского землетрясения – субширотный левосторонний сдвиг. Это совпадает с типом основных разломных нарушений региона и подтверждает продолжающиеся горизонтальные перемещения вдоль западного фланга Южно-Тукурингского разлома. Параметры землетрясения свидетельствуют о достаточно высоком сейсмическом потенциале территории ($M_w = 5,9–6,4$).

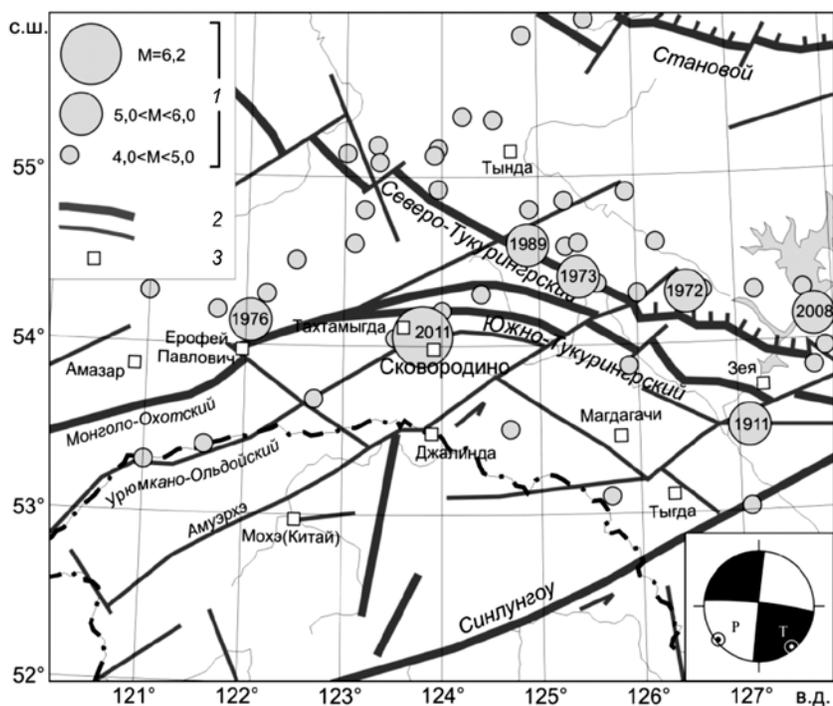


Рис. 11. Тектоническая схема района Сковородинского землетрясения 14.10.2011 г. и эпицентры исторических землетрясений. 1 – магнитуда землетрясений; 2 – разломы; 3 – населенные пункты. На врезке в правом нижнем углу показан механизм очага Сковородинского землетрясения

Получены новые данные о закономерностях затухания ощутимых сотрясений с расстоянием, что крайне важно для уточнения сейсмического районирования Верхнего Приамурья.

8. На основе каталога, включающего данные о 12 063 землетрясениях с гипоцентрами глубиной до 50 км, проведен анализ сейсмичности территории Приамурья и Приморья с 1865 по 2015 г. [12]. Распределение коровой сейсмичности территории имеет неравномерный характер. Наибольшее число землетрясений, в том числе самых сильных, тяготеет к трем сейсмическим поясам – Становому, Янкан-Тукурингра-Соктаханскому на восточном фланге Монголо-Охотского линеймента и Турано-Селемджинскому. Реконструкция параметров напряженного состояния земной коры региона осуществлена с использованием метода катакластического анализа механизмов очагов землетрясений [11]. Получены оценки направления осей региональных напряжений сжатия и растяжения для двух участков северной границы Амурской плиты и Алдано-Станового блока, разделенных зоной сейсмического затихья.

9. Многолетними геодезическими GPS/ГЛОНАСС-наблюдениями на территории Верхнего Приамурья установлено горизонтальное смещение большинства блоков региона в юго-западном направлении со средней скоростью 11 мм/год. Преобладающее левостороннее направление движения блоков совпадает с типом основных разломных нарушений региона и соответствует буферной зоне сейсмоактивных структур, северная граница которой проходит по Олекмо-Становому сейсмическому поясу, а южная – по Монголо-Охотскому разлому. Районы с максимальными значениями дивергенции пространственно совмещены с зонами повышенной сейсмичности, границами блоков и узлами пересечения разрывных нарушений. Из комплексного анализа геолого-геофизических данных и оценок скоростей смещения пунктов геодинимического полигона Верхнего Приамурья следует вывод о кинематической неоднородности Монголо-Охотского складчатого пояса на современном этапе и наличии сложной картины происходящих здесь деформаций. Характер тектонического режима в пределах Монголо-Охотского складчатого пояса позволяет соотнести его с буферной, или транзитной, зоной, в пределах которой реализуются тектонические напряжения, возникающие из-за различной кинематики окружающих его тектонических единиц [5].

Международное сотрудничество

Организация ЕСГН ДВО РАН и данные, полученные в ходе выполнения указанной выше программы, послужили основой полноценного партнерства и тесного сотрудничества с коллегами из Японии, Южной Кореи и Китая. В течение ряда лет исполнители программы активно участвуют в российско-японских проектах «Исследования сейсмотектоники Охотоморской плиты» (2005–2010 гг.) и «Геодинамика Дальнего Востока» (2010–2014 гг., 2015–2020 гг.), выполняемых институтами Российской академии наук и сообществом университетов Японии. В 2013–2015 гг. выполнен российско-японский проект РФФИ «Исследование вязкоупругих свойств структур под Японским морем и их взаимосвязи с современной тектоникой северо-восточной Азии по данным GPS-наблюдений» (13-05-92101 ЯФ).

Начиная с 2013 г. успешно развивается сотрудничество с Институтом прогноза землетрясений, входящим в структуру Сейсмологического бюро Китая (г. Пекин). Совместно с китайскими коллегами изучается современная геодинамическая активность северо-востока Китая и юго-востока России. В 2017–2018 гг. реализован совместный проект Российского фонда фундаментальных исследований и Государственного фонда естественных наук КНР «Современная тектоника и реологические свойства литосферы Северо-Восточной Азии (северо-восток Китая и юго-восток российского Дальнего Востока) по данным объединения наблюдений ГНСС-сетей Китая и России» (17-55-53110 ГФЕН_а).

Совместно с группой проф. Хироаки Такахаша (Hiroaki Takahashi) из Института сейсмологии и вулканологии Университета Хоккайдо (г. Саппоро, Япония) осуществляется поэтапная разработка систем раннего предупреждения о цунами в акватории Японского моря, в том числе с использованием созданной сети постоянно действующих ГНСС-пунктов ЕСГН ДВО РАН.

В рамках этих и других проектов проводились и проводятся исследования, направленные на оценку и уточнение сейсмической опасности, предупреждение природных катастроф – землетрясений, цунами и извержений вулканов.

Заключение

Организация ЕСГН ДВО РАН потребовала усилий нескольких десятков сотрудников из шести институтов. Общие затраты за первые 7 лет (2008–2014 гг.) превысили 50 млн руб. (приобретение оборудования, открытие новых пунктов наблюдения, эксплуатация сети, оплата каналов для передачи данных в режиме реального времени, обработка первичной информации), при этом ежегодное финансирование исследований из бюджета ДВО РАН составляло 1,5 млн руб.

В выполнении программы ежегодно было задействовано 25–30 сотрудников, до 75 % которых были молодые ученые, аспиранты и студенты. Работа молодых исследователей в таком коллективе способствовала эффективной подготовке квалифицированных кадров и быстрому профессиональному росту.

В настоящее время ЕСГН ДВО РАН включает 23 постоянных пункта GPS/ГЛОНАСС-наблюдений (система Trimble NetR5 и Фаза+), два из которых оснащены еще и современными цифровыми широкополосными сейсмостанциями REF TEK SENS-BBS-120 (см. таблицу).

Проведенные в 2009–2019 гг. исследования позволили систематизировать и существенным образом дополнить геодинамические и геофизические характеристики литосферы Дальнего Востока и ее активных структур, данные о динамике деформационных и сейсмических процессов, разработать некоторые общие теоретические проблемы геодинамики. Эти исследования имеют не только чисто научную, но и практическую значимость, так как напрямую связаны с оценкой сейсмической опасности региона.

При выполнении исследований по ЦКП «Современная геодинамика, активные геоструктуры и природные опасности Дальнего Востока России (2009–2013 гг.)», Комплексной программе фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» и проекту «Современная геодинамика Дальнего Востока России: мониторинг, моделирование, прогнозирование» (18-5-024) в рамках программы фундаментальных исследований РАН «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (2018–2020 гг.) проведены сбор, передача, хранение и обработка данных спутниковых и сейсмологических измерений с целью получения новых количественных оценок скоростей смещения земной поверхности и сейсмической активности Дальнего Востока для исследования современной геодинамики региона и построения моделей взаимодействия литосферных плит.

На основе анализа данных длительного сейсмологического и геодезического мониторинга крупномасштабных деформаций на Дальнем Востоке получены значительные научные результаты.

1. Дана общая оценка вековых скоростей смещений земной коры юга Дальнего Востока России в глобальном, региональном и локальном масштабах, оценен уровень современной геодинамической активности крупнейших тектонических структур.

2. Впервые инструментально зарегистрированы горизонтальные косейсмические смещения земной коры на территории России, инициированные землетрясением Тохоку ($M_w = 9,0$), произошедшим 11 марта 2011 г., построена модель очага землетрясения. На основе GPS/ГЛОНАСС-измерений рассчитаны косейсмические смещения на обширной

**Местоположение GPS/ГЛОНАСС-станций (система Trimble NetR5 и Фаза+)
и сейсмических станций REF TEK SENS-BBS-120**

№ п/п	Населенный пункт	Название станции	Координаты, град.		Дата ввода в эксплуатацию	Институт, ответственный за эксплуатацию
			Широта	Долгота		
1	Тымовское	TYMV	50.859	142.671	25.07.2009	ИМГиГ
2	Оха	OKHB	53.601	142.941	30.07.2009	ИМГиГ
3	Углегорск	UGLG	49.068	142.059	10.08.2009	ИМГиГ
4	О-в Монерон	MONR	46.245	141.258	08.07.2011	ИМГиГ
5	Южно-Курильск	KUNA	44.035	145.861	22.10.2010	ИМГиГ
6	Курильск	ITRP	44.216	147.866	27.07.2017	ИМГиГ
7	Терней	TERN	45.037	136.603	19.10.2008	ИПМ
8	Горнотаежное	GRNC	43.698	132.165	11.06.2009	ИПМ
9	Охотск	OKHT	59.418	143.071	22.09.2009	ИТиГ
10	Хабаровск	GEO0	48.473	135.052	01.09.2009	ИТиГ
11	Ванино	VANB, VNNR*	49.091	140.255	27.08.2008, 16.09.2008	ИТиГ
12	Кульдур	KULD	49.333	131.100	01.08.2008	ИТиГ
13	Чегдомын	CHMN, CHMR*	51.137	133.040	26.09.2009	ИТиГ
14	Зея	ZEYA	53.750	127.280	08.08.2012	ИГиП
15	Благовещенск	BLAG	49.407	127.480	27.08.2010	ИГиП
16	Хабаровск	KHAB	48.488	135.077	05.09.2011	ИТиГ
17	Ерофей Павлович	EROF	53.960	121.950	21.08.2011	ИГиП
18	Тында	TIND	55.160	124.750	21.08.2012	ИГиП
19	Заповедное	ZAPV	42.837	133.693	04.10.2015	ИПМ, ДВФУ
20	Смычка	SMHK	44.346	135.818	01.01.2013	ИПМ
21	Дальнереченск	IMAN	45.934	133.735	27.03.2014	ИПМ
22	Лузановская сопка	LUZS	44.552	132.381	15.10.2017	ИПМ, ДВФУ
23	Владивосток	VLAD	43.197	131.926	12.02.1996	ИПМ

* Пункты, оборудованные широкополосными сейсмостанциями REF TEK SENS-BBS-120.

территории Дальнего Востока на расстояниях до 2300 км от эпицентра землетрясения Тохоку. Вертикального косейсмического скачка, в отличие от горизонтального, в момент землетрясения не обнаружено, но впервые инструментально зарегистрированы и оценены количественно и качественно вертикальные постсейсмические движения земной коры.

3. Впервые в мировой практике на основе GPS/ГЛОНАСС-наблюдений установлены величины косейсмических смещений земной коры, построена дислокационная модель очага и получен сейсмический момент уникального сейсмического события – сильнейшего за всю историю инструментальной сейсмологии глубокофокусного Охотоморского землетрясения ($M_w = 8,3$), произошедшего 24 мая 2013 г. вблизи западного побережья п-ова Камчатка на глубине ~600 км.

4. На основе измерений межсейсмических горизонтальных скоростей земной поверхности о-ва Сахалин за период 1999–2009 гг. построены различные модели схождения Североамериканской (Охотской) и Евразийской литосферных плит, граница которых представлена системой главных субмеридиональных разломов острова. Для южной, центральной и северной частей островной суши получены первые оценки глубины зоны механического контакта литосферных плит, характеризующие сейсмический потенциал районов исследований.

5. Впервые для Сахалинского региона выполнен статистический анализ параметров сейсмодислокаций и построена уточненная сеймотектоническая модель, которую рекомендовано использовать при решении задач сейсмического районирования и количественных оценок сейсмической опасности региона.

6. Проведено комплексное исследование Сковородинского землетрясения ($M_w = 6,0$), произошедшего 14 октября 2011 г., – самого сильного сейсмического события за весь период инструментальных сейсмологических наблюдений в Верхнем Приамурье. Определен механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений. Полученное решение описывает сдвиговый механизм с субвертикальными нодальными плоскостями, что соответствует типу основных разломных нарушений в регионе и подтверждает продолжающиеся горизонтальные перемещения вдоль западного фланга Южно-Тукурингского разлома.

7. Выполнено массовое определение фокальных механизмов землетрясений, произошедших в 2005–2009 гг. в районе о-ва Сахалин, Курильских островов, акватории Охотского моря, Татарского пролива и северной части Японского моря. Сравнение механизмов очагов землетрясений, определенных в ходе исследований, с вариантами решений мировых сейсмологических агентств USGS и GCMТ показало хорошее совпадение.

8. На основе объединенного поля скоростей движений земной коры на территории Амурской плиты и ее окраин построено непрерывное поле скоростей деформаций. Рассчитаны скорости дилатации, направления и значения главных осей деформации. Количественно оценены скорости максимальных сдвиговых деформаций и направления их осей. Выявленные зоны повышенной тектонической активизации соответствуют областям редуцированной литосферы и часто характеризуются наличием позднекайнозойского вулканизма.

9. Разработана информационная система для автоматизированной обработки инструментальных данных и проведения на их основе исследований современных геодинамических процессов на территории юга Дальнего Востока России и Северо-Восточной Азии.

Авторы благодарны д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофееву за полезные советы и конструктивные замечания по рукописи статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В.Г., Бормотов В.А., Коковкин А.А., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Герасименко М.Д., Шестаков Н.В., Коломиец А.Г., Сорокин А.П., Сорокина А.Т., Серов М.А., Селиверстов Н.И., Магуськин М.А., Левин В.Е., Бахтияров В.Ф., Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Дучков А.Д., Тимофеев В.Ю., Горнов П.Ю., Ардюков Д.Г. Начало формирования единой сети геодинамических наблюдений ДВО РАН // *Вестн. ДВО РАН*. 2009. № 4. С. 83–93.

2. Василенко Н.Ф., Прытков А.С. Моделирование взаимодействия литосферных плит на о. Сахалин по данным GPS наблюдений // *Тихоокеан. геология*. 2012. Т. 31, № 1. С. 42–48.

3. Герасименко М.Д., Шестаков Н.В., Коломиец А.Г., Герасимов Г.Н., Такахаси Х., Сысоев Д.В., Нечаев Г.В. Вертикальные движения юга Приморского края и их связь с геодинамическими процессами в зоне субдукции // *Геод. и картография*. 2016. № 3. С. 33–37.

4. Диденко А.Н., Быков В.Г., Шестаков Н.В., Бормотов В.А., Герасименко М.Д., Коломиец А.Г., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Сорокин А.А. Землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. Данные сети деформационных и сейсмологических наблюдений ДВО РАН // *Вестн. ДВО РАН*. 2011. № 3. С. 18–24.

5. Жижерин В.С., Серов М.А. Кинематика современных тектонических движений в пределах восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса // *Геол. и геофизика*. 2016. Т. 57, № 12. С. 2143–2152.

6. Коновалов А.В., Семенова Е.П., Сафонов Д.А. Результаты детального изучения очаговой зоны землетрясения 16 марта 2010 года ($M_w = 5,8$) на северо-западе о. Сахалин // *Вулканология и сейсмология*. 2012. № 4. С. 37–49.

7. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Современные исследования механизмов очагов землетрясений о. Сахалин. Владивосток: Дальнаука, 2014. 252 с.

8. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. Деформации земной поверхности о. Сахалин по данным GPS наблюдений // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9, № 2. С. 503–514.

9. Прытков А.С., Грецкий Н.В., Василенко Н.Ф. Современная глубина межплитового сцепления в Сахалино-Курильском регионе по данным GPS наблюдений // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 3. С. 21–27.
10. Пупатенко В.В. Сравнительный анализ волновых форм землетрясения Тохоку 11 марта 2011 г., полученных сейсмологическим и геодезическим методами // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 5. С. 132–138.
11. Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // ДАН. 1999. Т. 365, № 3. С. 392–395.
12. Сафонов Д.А. Сейсмическая активность Приамурья и Приморья // Геосистемы переходных зон. 2018. Т. 2, № 2. С. 104–115.
13. Сорокин А.А., Королев С.П., Михайлов К.В., Коновалов А.В. Автоматизированная информационная система оценки состояния сети инструментальных сейсмологических наблюдений «Сигнал-С» // Информатика и системы управления. 2010. № 4 (26). С. 161–167.
14. Сорокин А.А., Королев С.П., Шестаков Н.В., Мальковский С.И., Цой Г.И., Пупатенко В.В. Организация работы с данными глобальных навигационных спутниковых систем для комплексного исследования современных геодинамических процессов на юге Дальнего Востока России // Совр. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 3. С. 158–172.
15. Ханчук А.И., Сафонов Д.А., Радзиминович Я.Б., Коваленко Н.С., Коновалов А.В., Шестаков Н.В., Быков В.Г., Серов М.А., Сорокин А.А. Сильнейшее современное землетрясение в Верхнем Приамурье 14 октября 2011 г.: первые результаты комплексного исследования // ДАН. 2012. Т. 445, № 3. С. 338–341.
16. Шестаков Н.В., Охзоно М., Такахаши Х., Герасименко М.Д., Быков В.Г., Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Титков Н.Н., Серовников С.С., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Сорокин А.А., Серов М.А., Кондратьев М.Н., Пупатенко В.В. Моделирование косейсмических движений земной коры, инициированных глубоководным Охотоморским землетрясением 24.05.2013 г., $M_w = 8,3$ // ДАН. 2014. Т. 457, № 4. С. 471–476.
17. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F. Geologically current plate motions // Geophys. J. Intern. 2010. Vol. 181, N 1. P. 1–80.
18. Kogan M.G., Vasilenko N.F., Frolov D.I., Freymueller J.T., Steblov G.M., Prytkov A.S., Ekstrom G. Rapid postseismic relaxation after the great 2006–2007 Kuril earthquakes from GPS observations in 2007–2011 // J. Geophys. Res. 2013. Vol. 118. P. 1–16.
19. Korolev S.P., Sorokin A.A., Verkhoturov A.L., Konvalov A.V., Shestakov N.V. Automated information system for instrument-data processing of the regional seismic observation network of FEB RAS // Seismic Instruments. 2015. Vol. 51, N 3. P. 209–218.
20. Shestakov N., Takahashi H., Ohzono M., Prytkov A., Bykov V., Gerasimenko M., Luneva M., Gerasimov G., Kolomiets A., Bormotov V., Vasilenko N., Baek J., Park P.-H., Serov M. Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations // Tectonophysics. 2012. Vol. 524 / 525. P. 76–86.
21. Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Takahashi H., Kasahara M., Bormotov V.A., Bykov V.G., Kolomiets A.G., Gerasimov G.N., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Kato T. Present tectonics of the south-east of Russia as seen from GPS observations // Geophys. J. Intern. 2011. Vol. 184, N 2. P. 529–544.
22. Sorokin A.A., Makogonov S.I., Korolev S.P. The information infrastructure for collective scientific work in the Far East of Russia // Sci. Techn. Inform. Proc. 2017. Vol. 4. P. 302–304.
23. Zhao Q., Fu G., Wu W., Liu T., Su L., Su X., Shestakov N.V. Spatial-temporal evolution and corresponding mechanism of the far-field post-seismic displacements following the 2011 $M_w = 9,0$ Tohoku earthquake // Geophys. J. Intern. 2018. Vol. 214, N 3. P. 1774–1782.

О.Л. СОКОЛ-КУТЫЛОВСКИЙ, Д.С. ТЯГУНОВ

Регистрация вариаций геомагнитного поля магнитомодуляционным датчиком

Показана возможность применения магнитомодуляционных датчиков слабого магнитного поля с аморфным ферромагнитным сердечником, работающих в режиме автопараметрического усиления сигнала магнитной индукции, для измерения амплитуды и фазы вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0,01–30 Гц. Разрешающая способность магнитомодуляционных датчиков с автопараметрическим усилением сигнала магнитной индукции в аморфном ферромагнитном сердечнике с компенсированной продольной магнитострикцией не превышает 1 пТл. Приведены примеры синхронной записи амплитуды трех составляющих вариаций геомагнитного поля на различных участках диапазона измеряемых частот, записанные во время слабой магнитной бури интенсивностью 5 баллов. Получаемая с помощью магнитомодуляционного датчика информация об амплитуде и фазе геомагнитных вариаций совместно с данными по амплитуде электрического поля электромагнитных волн может быть применена в геофизике в различных методах магнитотеллурического зондирования.

Ключевые слова: вариации геомагнитного поля, магнитомодуляционный датчик.

Registration of geomagnetic field variations with a magnetic modulating sensor. O.L. SOKOL-KUTYLOVSKII, D.S. TYAGUNOV (Institute of Geophysics, UrB RAS, Yekaterinburg).

The possibility of using magnetic modulating sensors of the weak magnetic field with amorphous ferromagnetic core operating in the mode of autoparametric signal gain of magnetic induction to measure the amplitude and phase variations of the geomagnetic field in the frequency range 0.01–30 Hz. Resolution of magnetomodulation sensors with autoparametric signal increase of magnetic induction in ferromagnetic amorphous core with offset longitudinal magnetostriction is not more than 1 pTl. Examples of synchronous recording of the amplitude of the three components of the variations of the geomagnetic field in different parts of the measured frequency range, recorded during a weak magnetic storm intensity of five points are given. Information obtained by magnetomodulation sensor about the amplitude and phase of geomagnetic variations, together with data on the amplitude of the electric field of electromagnetic waves can be applied in geophysics to the different methods of magnetotelluric sounding.

Key words: geomagnetic field variations, magnetic modulating sensor.

Введение

В настоящее время для регистрации геомагнитных вариаций в аппаратуре магнитотеллурического зондирования (МТЗ) применяются, как правило, индукционные датчики магнитного поля [5], которые имеют ряд неудобств в эксплуатации. Во-первых, индукционные датчики измеряют не саму составляющую магнитной индукции, а ее изменение ($\partial B/\partial t$), из которой восстановить амплитуду магнитной индукции в широком диапазоне частот достаточно проблематично. Во-вторых, индукционные датчики имеют нелинейную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ). В-третьих, они имеют достаточно большие продольные размеры и очень чувствительны к механической вибрации и ветровым помехам, в результате чего перед измерениями их приходится прикапывать в землю, что особенно трудоемко для датчика вертикальной составляющей магнитной индукции.

*СОКОЛ-КУТЫЛОВСКИЙ Олег Леонидович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ТЯГУНОВ Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург). *E-mail: tds-07@mail.ru

По основным техническим параметрам наиболее подходят для МТЗ датчики на основе эффекта Джозефсона – сверхпроводящие квантовые интерференционные детекторы (СКВИДы), имеющие малые размеры, низкий порог чувствительности и плоскую АЧХ [2, 8–11]. Однако вследствие их работы при температуре жидкого гелия (низкотемпературные СКВИДы) или жидкого азота (высокотемпературные СКВИДы) их применение в полевых условиях нецелесообразно.

Феррозондовые приборы и магнитомодуляционные датчики магнитной индукции относительно просты в изготовлении и имеют малые размеры, но их собственный шум не позволяет получить низкий порог чувствительности в диапазоне низких частот [1], поэтому в аппаратуре МТЗ они практически не применяются.

В последнее время появились сообщения о феррозондах второй гармоники, имеющих на два порядка меньший магнитный шум по сравнению с классическими феррозондовыми магнетометрами. Снижение уровня собственных магнитных шумов в феррозондах второй гармоники удалось получить на основе процесса циркулярного вращения намагниченности в плоскости магнитной пленки феррита-граната [3]. При этом феррит-гранатовая пленка должна всегда находиться в состоянии магнитного насыщения, создаваемого вращающимся магнитным полем с амплитудой ~ 2 мТл в плоскости пленки. Из шумовой характеристики тонкопленочного магнитометра следует, что на частотах от 1 до 100 Гц шум датчика составляет $\sim 0,1$ пТл/Гц^{1/2}, что уже достаточно для возможного применения в методах МТЗ.

Известны также магнитомодуляционные датчики с аморфным ферромагнитным сердечником, работающие в режиме автопараметрического усиления сигнала магнитной индукции [6], которые могут иметь еще более низкий порог чувствительности. Так как автопараметрический резонанс в таких датчиках наблюдается вблизи области технического насыщения аморфного ферромагнитного сердечника, то его собственный магнитный шум пренебрежимо мал, а за счет резонансного усиления сигнала магнитной индукции коэффициент преобразования датчика вполне достаточен для измерения слабых сигналов переменного магнитного поля.

Технические параметры преобразователя магнитного поля с автопараметрическим усилением сигнала магнитной индукции

Количество каналов измерения – 3.

Коэффициент преобразования (чувствительность) – 200 мВ/нТл.

Диапазон частот измеряемого сигнала магнитной индукции – 0,01–30 Гц.

Плоская АЧХ в диапазоне частот 0,01–30 Гц.

Данные измерений компонент магнитного поля, снимаемые с выходов магнитомодуляционных датчиков, поступают на многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD7734, оцифровываются и записываются на компьютер.

Напряжение питания – 12 В. Потребляемая мощность (без учета внутренней батареи питания компьютера) – 1,5 Вт.

Регистрация геомагнитных вариаций

Измерения проводились в Алапаевском районе Свердловской области вдали от явных локальных источников техногенного происхождения. Начало регистрации сигналов геомагнитного поля 31.08.2019 г. с 18:20 по местному времени, окончание – 01.09.2019 г. в 10:20. По данным геомагнитной активности, публикуемым Институтом Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН), а также Гидрометцентром г. Екатеринбург Свердловской области, в указанное время наблюдалась слабая магнитная буря интенсивностью 5 баллов.

Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений проводилась с помощью программируемого цифрового настраиваемого фильтра на основе дискретного преобразования Фурье.

После записи амплитуды магнитного поля на компьютер для каждой компоненты магнитного поля строился спектр Фурье массива полученных данных. Затем выделялись участки спектра, в которых амплитуда магнитного поля заметно превышала уровень сплошного геомагнитного шума. После этого с помощью цифрового фильтра для всех трех компонент магнитного поля строилась запись амплитуды магнитной индукции на выделенных частотах и выбирались участки этой записи с явным превышением средней амплитуды магнитного поля, представляющие собой волновой пакет, или цуг, колебаний одной частоты. На рис. 1 показан цуг колебаний частоты 0,016 Гц общей продолжительностью 1100 с. Для определения амплитуды берется центральный фрагмент цуга с максимальной амплитудой, состоящий из нескольких полных периодов колебаний.

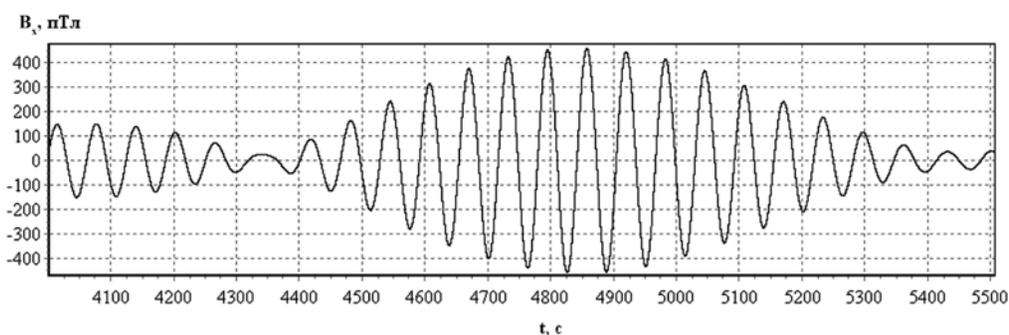


Рис. 1. Цуг колебаний горизонтальной составляющей B_x геомагнитного поля частоты 0,016 Гц. Начало цуга – 4350 с, окончание – 5450 с

Исходя из отношения амплитуд составляющих магнитной индукции, записанных синхронно для вертикальной и горизонтальных составляющих геомагнитного поля, производился отбор тех вариаций, в которых амплитуда горизонтальных составляющих больше или равна амплитуде вертикальной составляющей магнитного поля. Вариации магнитного поля, в которых вертикальная составляющая превышала горизонтальные составляющие геомагнитного поля, отбрасывались, так как высока вероятность того, что они могли быть вызваны шумами техногенного происхождения [4, 7].

Для получения полной информации об амплитуде и фазе геомагнитных вариаций синхронные участки записи амплитуды магнитной индукции совмещались на одном графике, как это представлено на рис. 2 и 3. На каждом графике присутствует полная первичная информация, позволяющая получить отношения амплитуд магнитной индукции в геомагнитных вариациях на выбранной частоте. Используя шкалу времени, можно также получить фазовые соотношения между компонентами вариаций геомагнитного поля заданной частоты.

Обсуждение результатов

Выполненная 16-часовая запись вариаций геомагнитного поля по времени включает слабую магнитную бурю амплитудой до 5 баллов. Кроме показанных на рис. 2 и 3 фрагментов вариаций на записи имеются и другие вариации геомагнитного поля. Так, на частоте 0,016 Гц зафиксирован цуг колебаний геомагнитного поля продолжительностью ~ 1100 с и с достаточно высокой амплитудой: ± 450 нТл по компоненте

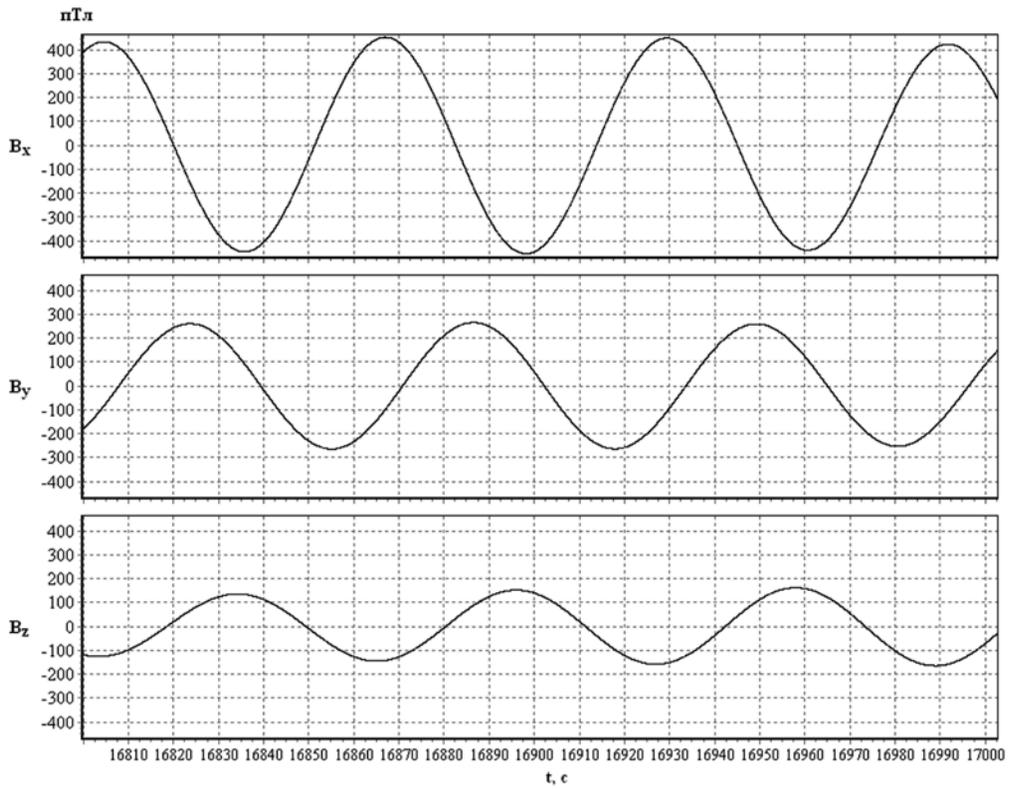


Рис. 2. Фрагменты записи трех компонент цуга колебаний геомагнитного поля со средней частотой 0,016 Гц. Общая продолжительность данного цуга колебаний – 950 с

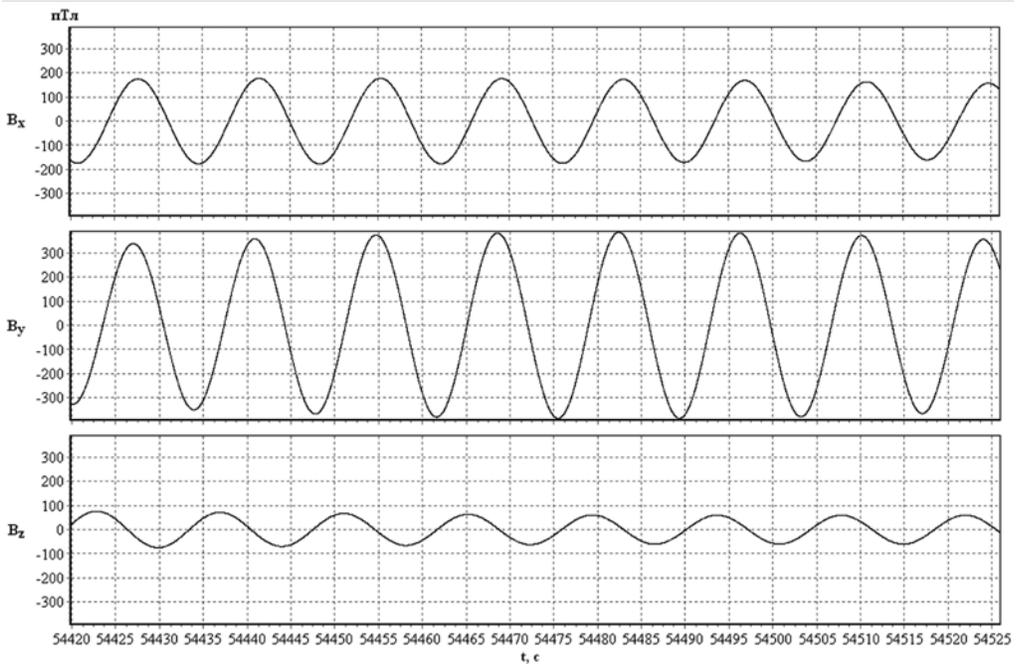


Рис. 3. Фрагмент записи трех компонент вариации геомагнитного поля с частотой $0,0725 \pm 0,0025$ Гц. Полная длина цуга колебаний геомагнитного поля – 350 с

B_x , ± 370 пТл по компоненте B_y и ± 180 пТл по компоненте B_z . На частоте 0,08 Гц также имеется вариация магнитного поля амплитудой до 140 пТл (от пика до пика) продолжительностью до 650 с.

На частотах выше 0,1 Гц значительных вариаций геомагнитного поля не выявлено при среднем шумовом фоне всей записи ± 200 пТл в полной полосе пропускания прибора. Возможно, это связано с достаточно высоким уровнем как геомагнитного шума, так и техногенных помех, амплитуды которых оказались сопоставимыми на этих частотах.

Амплитудно-фазовые соотношения между компонентами вариаций геомагнитного поля

В вариациях магнитного поля, показанных на рис. 2, горизонтальная компонента, направленная по магнитному меридиану, по амплитуде больше горизонтальной компоненты B_y , а на рис. 3, наоборот, компонента B_y значительно больше горизонтальной компоненты B_x .

Как следует из рис. 2 и 3, между различными компонентами вариаций геомагнитного поля имеются значительные фазовые сдвиги. Пик амплитуды компоненты B_x вариации магнитного поля частотой 0,016 Гц отстает от пика амплитуды компоненты B_y на 20 с, что соответствует фазовому сдвигу 115° . Пик амплитуды компоненты B_z этой же частоты опережает пик амплитуды компоненты B_y на 8 с, т.е. фазовый сдвиг равен 46° (рис. 2). Пик амплитуды компоненты B_x в вариации магнитного поля частотой 0,0725 Гц отстает от пика амплитуды компоненты B_y на 2,5 с, то есть фазовый сдвиг равен 65° , а пик амплитуды компоненты B_z отстает от пика амплитуды компоненты B_y на 3 с, что соответствует фазовому сдвигу 78° (рис. 3). При этом максимальный аппаратный сдвиг фаз между компонентами, обусловленный последовательным считыванием сигналов в каналах измерения и определяемый временем дискретизации при аналого-цифровом преобразовании, не превышает 25 мс.

Заключение

В результате регистрации слабой геомагнитной бури интенсивностью 5 баллов при помощи трехкомпонентного магнитомодуляционного преобразователя была получена полная информация об амплитуде и фазе нескольких цугов вариаций геомагнитного поля. Полученная информация, при дополнении ее данными по электрическим составляющим электромагнитного поля, может быть использована в различных методах МТЗ. Измерения геомагнитных вариаций показали, что магнитомодуляционный датчик надежно регистрирует переменное магнитное поле низких частот с разрешением ~ 1 пТл и менее и может эффективно применяться в геофизических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 188 с.
2. Бурмистров Е.В. Градиентометр на базе ВТСП СКВИДов для работы в неэкранированном пространстве: дис. ... канд. физ.-мат. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2009. 107 с.
3. Ветошко П.М., Гусев Н.А., Чепурнова Д.А., Самойлова Е.В., Сыворотка И.И., Сыворотка И.М., Звездин А.К., Коротаяева А.А., Белотелов В.И. Магнитомодуляционный сенсор магнитного поля на базе пленок феррита-граната для магнитокардиографических исследований // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42, вып. 16. С. 64–71.
4. Колесник А.Г., Колесник С.А., Бородин А.С., Шошин Е.Л., Федичев М.А. Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленных частот // Вестн. ТГУ. 2007. № 297. С. 161–164.
5. Поляков С.В., Резников Б.И., Щенников А.В., Копытенко Е.А., Самсонов Б.В. Линейка индукционных датчиков магнитного поля для геофизических исследований // Сейсм. приборы. 2016. Т. 52, № 1. С. 5–27.

6. Сокол-Кутыловский О.Л. Магнитомодуляционные датчики на основе аморфных ферромагнитных сплавов // Измер. техника. 2016. № 2. С. 46–49.
7. Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л. Спектральное распределение городского магнитного шума в диапазоне низких частот // Вестн. КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2016. № 3 (31). С. 58–64.
8. Фалей М.И., Масленников Ю.В., Кошелец В.П. Измерительные системы на ВТСП СКВИДах // Радиотехника. 2012. № 12. С. 5–26.
9. Bick M., Panaitov G., Wolters N., Zhang Y., Bousack H., Braginski A.I., Kalberkamp U., Burkhardt H., Matzande U. A HTS rf SQUID vector magnetometer for geophysical exploration // IEEE Trans. Appl. Superconduct. 1999. Vol. 9, N 2. P. 3780–3785.
10. Lei Guo, Cai Wang, Saotao Zhi, Zhu Feng, Chong Lei, Yong Zhou. Wide linearity range and highly sensitive MEMS-Based micro-fluxgate sensor with double-layer magnetic core made of Fe-Co-B amorphous alloy // Micromachines. 2017. Vol. 8, N 12. 352.
11. Sasada I. Low-noise fundamental-mode orthogonal fluxgate (FM-OFG) magnetometer built with an amorphous ribbon core // IEEE Trans. Magn. 2018. Vol. 25, N 10. P. 99.

Л.А. ИЗОСОВ, Н.П. КУЛЬКОВ

Геология раннего–среднего палеозоя Япономорской зоны перехода континент–океан (обзор). Ч. 2

На основании обширного материала впервые проведена корреляция нижнесреднепалеозойских стратиграфических подразделений местного ранга различных регионов Япономорской зоны перехода континент–океан. Выделены стратифицирующиеся и нестратифицирующиеся магматические комплексы этих возрастов, представляющие собой вулканические, субвулканические, вулканоплутонические и плутонические образования. Авторами детально рассмотрены территориально разрозненные в основном палеонтологически охарактеризованные разрезы ордовика, силура и девона данного региона. В структурах, наложенных на докембрийские массивы, рассматриваемые отложения обычно хорошо прослеживаются по латерали, в то время как в полициклических подвижных поясах они залегают часто в виде олистолитов в мезозойских микститах или крупных ксенолитов в разновозрастных гранитоидах. Субмаринные ордовикские, силурийские и девонские отложения ЯЗ накапливались в сходной палеогеографической обстановке практически в одних и тех же седиментационных бассейнах, которые соединялись с центральноазиатскими, приохотскими и австралийскими морями. Континентальные осадки исследованной территории представлены девонскими толщами, включающими многочисленные растительные остатки, широко распространенными также в Центральном Казахстане, Западной Сибири, Приохотье и Южном Китае.

Ключевые слова: ордовик, силур, девон, Япономорская зона перехода континент–океан.

Early – Middle Paleozoic geology of the Sea of Japan Continent – Ocean Transitional Zone (review). Pt 2.
L.A. IZOSOV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok), N.P. KULKOV (Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk).

On the basis of extensive material the correlation of Lower – Middle Paleozoic local-rank stratigraphic divisions of the Sea of Japan Continent – Ocean Transitional Zone is carried out for the first time. The stratified and non-stratified magmatic complexes of these ages, representing volcanic, subvolcanic, volcano-plutonic and plutonic generations are allocated. The authors have considered territorially separate, generally paleontologically characterized Ordovician, Silurian and Devonian sections of the given region in details. In the structures superimposed on Precambrian Massifs, considered sediments are usually well traced along the strike, while in Polycyclic Mobile Belts they lie down often in the form of olistoliths in Mesozoic mixtites or – large xenoliths in uneven-aged granitoids. Submarine Ordovician, Silurian and Devonian sediments of JZ accumulated in similar paleogeographic conditions, practically in the same sediment basins, which incorporated to the Central-Asian, Okhotsk and Australian Seas. Continental deposits of the investigated territory are presented by the Devonian strata, including the numerous vegetative remnants, widespread as well in the Central Kazakhstan, Western Siberia, Okhotsk Region and in Southern China.

Key words: Ordovician, Silurian, Devonian, the Sea of Japan Continent – Ocean Transitional Zone.

*ИЗОСОВ Леонид Александрович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), КУЛЬКОВ Николай Петрович – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск). *E-mail: donkifa@mail.ru

Работа выполнена по программе ФНИ ТОИ ДВО РАН (тема 0271-2019-0005) и при финансовой поддержке Комплексной программы ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы (проект № 18-1-008).

Введение

Целью второй части данной работы является анализ фундаментальных данных по стратиграфии ордовика, силура и девона Япономорской зоны перехода континент–океан (ЯЗ), в которой сочленяются Китайская платформа и Тихоокеанский складчатый пояс [2; 7, с. 46; 16; 28]. Формационный анализ (по Н.С.Шатскому и Н.П.Хераскову) [14, 16, 19] показал, что раннесреднепалеозойские образования, включающие стратифицирующиеся и нестратифицирующиеся образования, в ЯЗ слагают чехол и наложенные структуры дорифейских кристаллических сооружений, рифтогенные зоны [13]. Наложённые структуры представляют собой осадочные и вулканогенно-осадочные прогибы, а также многокольцевые вулканотектонические депрессии, входящие в состав вулканогенных окраинно-континентальных поясов, которые маркируют палеозоны перехода континент–океан [6, 20]. Предлагаемый материал может быть использован исследователями, занимающимися вопросами региональной стратиграфии и палеогеографии Япономорского региона.

При исследовании нижнесреднепалеозойских отложений в ЯЗ авторам пришлось иметь дело в основном со стратонами местного ранга, которые распространены во всех регионах ЯЗ (см. рисунок).

Характеристика разрезов нижнесреднепалеозойских отложений Япономорской зоны перехода континент–океан

Примечательно, что до 60-х годов прошлого столетия среднепалеозойские толщи в Приморье выделялись условно, и только благодаря находкам раннесилурийских граптолитов, трилобитов и брахиопод [11, 15], среднепозднедевонских фораминифер [9, 10, 35] и девонской флоры [18, 21, 29] отложения этого возраста появились на геологических картах региона. Кроме того, Л.А. Изосов является одним из первооткрывателей в Приморье раннесреднекембрийских трилобитов [24] и раннекаменноугольных фораминифер [8]. Выявление отложений этого возраста дало возможность уточнить характер взаимоотношений выделенных в данном регионе нерасчленённых ордовикско-силурийских и девонских стратонов с подстилающими и перекрывающими образованиями.

Далее приводятся описания разрезов нижнесреднепалеозойских отложений ЯЗ (см. рисунок).

Разрез 1. Российское Приморье, Туманган-Лаоэлин-Гродековская зона (здесь и далее описание разрезов дается снизу вверх).

Кордонкинская свита (2100 м). В черных сланцах и аргиллитах заключены довольно многочисленные остатки раннесилурийских трилобитов, брахиопод и граптолитов. Среди органических остатков наибольшее значение для детализации возраста кордонкинской свиты имеют граптолиты *Monograptus* ex gr. *priodon* Bronn и брахиоподы [11, 15]. Монографтиды группы *M. priodon* встречаются от верхнего лландовери до верхов венлока. Уточненный Н.П. Кульковым [22] список брахиопод следующий: *Leptaena* cf. *depressa* (Sow.), *Leptostrophia cuspidata* (Barr.), *Leangella* sp., *Morinorhynchus dalmanelliformis* (Navl.), *Resserella canalis* (Sow.), *Spondylostrophia* sp., *Hemitoechia* cf. *daphne* (Barr.), *Stegerhynchus borealis* (Buch), *Clintonella? rotundata* Nikif. et Modz., *Coelospiroides isosovi* Kulk., *Meristina* sp.

Анализ этих видов приводит к выводу о венлокском возрасте вмещающих их отложений (средняя подсвита кордонкинской свиты). При этом такие характерные венлокские виды, как *Leptostrophia cuspidata* (Barr.), *Resserella canalis* (Sow.), представлены многочисленными створками, местами образующими ракушняки.

Приведенный комплекс брахиопод по своему биогеографическому типу тяготеет к части Урало-Кордильерского региона, именуемого провинцией с Subrianid-фауной [38]. Кордонкинская свита условно сопоставляется с соответствующими по возрасту отложениями,

развитыми в Северной Японии в горах Китаками (свита Каваути). Однако там встречаются другие брахиоподы [39], принадлежащие, вероятно, Сино-Австралийской провинции [38]: *Skenidioides kitakamiensis* Tachib., *Aegiria sugiyamai* Tachib., *Salopina onukii* Tachib., *Atrypina kitakamiensis* Tachib., *Endospirifer nipponicus* Tachib.

Разрез 2. Северо-Восточный Китай, Туманган-Лаоэлин-Гродековская зона.

1. Свита Сибаоян (290–870 м) входит в толщу нерасчлененных кембрийско-ордовикских отложений; помимо терригенных пород, она включает амфиболиты (метаморфизованные базальты) и магнетитовые руды. Изотопный возраст свиты – 542 ± 16 млн лет [37].

2. Свита Хуангъингтун (2495 м) сложена в основном кристаллическими сланцами – метаморфизованными кислыми вулканитами, согласно перекрывается верхнеордовикскими отложениями.

3. Свита Шифень (2100 м) содержит значительные объемы кристаллических сланцев и метаморфизованных базальтов. В прослоях карбонатных пород – остатки позднеордовикских *Sinkiangolasma* sp., *Leolasma* sp., *Rouscra* sp., *Thamnopora* sp., *Cladopora* sp. Изотопный возраст вулканитов – 455 млн лет [37].

4. Свита Таошань (275 м) богата лландовери-венлокскими граптолитами, заключенными в черных сланцах и алевролитах [37], характеризующими шесть фаунистических зон (снизу): 1. *Rastrites* cf. *linnaei* – *Streptograptus runcinatus* (*R. linnaei*); 2. *Spirograptus turriculatus*; 3. *Streptograptus exiguus* – *S.* cf. *crispus* (*S. crispus*); 4. *Monoclimacis* cf. *griestoniensis* – *M. vomerinus* (*M. griestoniensis*); 5. *Oktavites spiralis*; 6. *Retiolites geinitzianus* – *Stromatograptus* cf. *grandis* (*S. grandis*). В этом стратоне часто встречаются также граптолиты, близкие к присутствующим в кордонкинской свите российского Приморья [16].

Разрез 3. Северо-Восточный Китай, Цзилинская зона.

Развитые здесь две свиты связаны согласными взаимоотношениями. Они включают большое количество окаменелостей [37].

1. Свита Жангцзятунь (1450 м) содержит в сланцах остатки лудловских кораллов *Aulopora zhangiatunensis* (Liu), трилобитов *Coronocephalus* (*Paracoronocephalus*) *jilinensis* Куо и брахиопод *Aegiria grayi* (Dav.), *Leptostrophia guizhouensis* Rong. et C., *Salopina conservatrix* (McLearn), *Striispirifer* cf. *eudora* (Hall.), *Eospirifer* sp.

2. Свита Эрдаогуо (440 м) включает прослой сланцев и известняков, в которых заключены остатки пржидольских окаменелостей. В низах – кораллы *Heliolites sigillatus* Bondar., *Favosites* cf. *kunzakensis* Cher., *Squameofavosites jilinensis* Tchi, *Mucophyllum infundibulum* (Yabe et Eguchi), *Rhizophyllum applanatum* Suth., *Profasciphyllum zilinensis* Huang, *Spongophyllum yongiense* Huang, *S. sugiyamai* Yabe et Eguchi, *Disphyllum* sp., трилобиты *Otarion sphaericum* Куо, *Calymene* sp., *Proetus* sp., *Odontopleura* sp., брахиоподы *Atrypa erdaoougouensis* Lin, *Lissatrypa minor* Liu, *Delthyris* sp., *Leptaena* sp., *Nucleospira* cf. *calypta* Kong., *Skenidioides* sp., *Isorthis clivosa* Walm., *I. orbicularis* (Sow.), *I. slitensis* Walm., *Dicoelosia* sp., и др. В верхах – кораллы *Aulopora* sp., *Striatopora* sp., *Spongophyllum yongiense* Huang, трилобиты *Encrinurus sinicus* Куо, *Otarion sphaericum* Куо, брахиоподы *Idioglyptus alatus* Liu, *I. semicircularis* Liu, *I. subquadrata* Liu, *Isorthis clivosa* Walm., *I. orbicularis* (Sow.), *Leptostrophia* (?) sp.

Разрез 4. Российское Приморье, Южно-Синегорская впадина.

Туфоэффузивная (малоключевская) толща (380 м) не содержит органических остатков и сопоставляется по литологическому составу с кордонкинской свитой [16].

Разрез 5. Российское Приморье, Южно-Синегорская впадина.

1. «Немая» трансгрессивная серия, в состав которой входят свиты даубихезская (4310 м) и реттиховская (2940 м). Последняя сходна по литологическому составу с кордонкинской [16].

2. Толща риолитов и их туфов (500–2935 м) содержит в верхней части маломощные прослой алевролитов с раннедевонской флорой [29]: *Sawdonia* cf. *ornata* (Daw.) Hueb., *Taeniocrada decheniana* (Goerpp.) Kr. et Weyl., *Drepanophycus* sp.

Разрезы ниже- и среднепалеозойских страгонов и нестратифицирующихся магматических комплексов Япономорской зоны перехода континент–океан. Номера разрезов здесь и на рисунке в первой части статьи [7, с. 46–47] соответствуют

А. Стратиграфические подразделения разрезов № 1–18.

1) S_1kr – кордонкинская свита; 2) свиты: $E-Oxb$ – Сибоан, $E-Oln$ – Хуангпингун, O_3sf – Шифень, S_1ks – Таопань; 3) свиты: S_2zh – Жангцзятунь, S_2er – Эрдаогу; 4) S_1te – ту-фоэфузивная (малоклочевская) толща; 5) свиты: $(O-S_1)db$ – даубихэская, $S_1?nt$ – реттиховская; 6) $S_2?D$, tm – тамгинская свита (нижняя толща); 7) S_1dh – дахэжэньская свита; 8) свиты: O_3sl – Синток, O_2mn – Мандал, O_3sl – Сангсор, S_1kk – Коксан, S_1v – Волянгри; 9) свиты: O_2hn – Хангмае, S_1hd – Хэдонгри; 10–11) $S_1?t$ – толща терригенных и вулканогенных пород; 12) свиты: O_3ys – Йошики, S_2ht – Хитоэгане; 14) S_1ok – свита Окухинолучи; 15) свиты: $S_1?kiv$ – Каваути, $S_2?k$ – Такаинари; 16) $O_{1,2}hc$ – стратифицирующийся магматический комплекс Хаячине, свиты: $O_3?S_1jk$ – Якушигава, S_1mt – Намейризава, S_1od – Одагои, S_2or – Орикабэтоги; 17) $O_{1,2}hc$ – стратифицирующийся магматический комплекс Хаячине, S_2D_3 , sl – серия Сеньёотагаки (S_2b – толща базальтов); 18) S_1D_3sf – серия Гион-яма (S_1p – толща песчаников, S_1j – толща известняков, S_1j – толща известняков, S_2D_3 – толща туфопесчаников).

Нестратифицирующиеся магматические комплексы: gOg – габбро-гранодиорит-гранитовый тродкековский (батолитовый), $gO?s$ – гранитовый шмаковский (батолитовый),

dO_3s – габбро-диорит-гранодиоритовый Сободжи (батолитовый), gO_3h – гранитовый Хиками (батолитовый), nS_1k и sS_1k – базит-гипербазитовый кордонкинский (субвулканический); $nS_1?m$ и $sS_1?m$ – базит-гипербазитовый малоклочевской (субвулканический); $sS_1?kt$ – гипербазитовый (кимберлитовый) курханский (вулканический), $nS_1?d$ и $sS_1?d$ – базит-гипербазитовый дахэжэньский (вулканоплутонический); nS_2jsS_2j и gS_2j – базит-гипербазит-гранитовый пзильинский (вулканоплутонический); gSk и $nO-Dn$ – гранитовый силурийский Куроэгава (плутонический) и габброидный ордовикско-девонский Нагато (плутонический).

В ряде случаев мощности страгонов в зарубежных источниках не приводятся.

Общая мощность свит $O_3?S_1jk$, S_1mt , S_2od и S_2or составляет около 300 м.

В скобках указан изотопный возраст магматитов, млн лет.

Условные обозначения: 1 – диабазы, базальты и их туффы, реже гипербазиты; 2 – андезиты и их туффы; 3 – риолиты и их туффы; 4 – гранитоиды; 5 – конгломераты, туфокогло-

мераты; 6 – гравелисты, туфотравелиты; 7 – песчаники, туфопесчаники; 8 – алевролиты, туфоалевролиты, туффиты; 9 – сланцы, аргиллиты; 10 – известняки; 11 – кремнистые

породы; 12 – окаменелости (а – фауна, микрофауна; б – наземная флора)

Б. Стратиграфические подразделения разрезов № 5, 6, 12–15, 17–30.

5) D₁r – толща риолитов и их туфов, свиты: D_{2,3}ys – вассиановская, D₃sp – снегуровская, D₁ln – лунзенская (левочерниговская) свита, D_{2,3}lt – лютторгская свита; 6) S₂-D₁tm – тамгинская свита (толщи средняя – 2270 м, верхняя – 680 м); 12) свиты: D_{1,2}fk – Фукулди, D₁km – Кийоми; 13) D₁db – свита Тобигамори; 14) D_{1,2}r – толща риолитов и их туфов; 15) свиты: D₁on – Оно, D₂pk – Накадзато; 17) серия S₂-D₃sp – Сеньюгагаки (S₂-D₁r – толща риолитов, D_{2,3}pr – толща песчаников); 18) серия S₁-D₃gl – Гион-яма (S₂-D₁t – толща туфопесчаников – 1100 м); 19) свиты: O₁bq – Баоцунан, O_{1,2}xq – Сюоцзинтоу, O_{1,2}dq – Дацзинг, D₁hl – Хейлонгтонг; D₂hn – Хонгчуань; 20) свиты: O₁el – Ели, O₁ln – Лянцзяшань, O₂sp – Сямцацзяоу, O₃sp – Шангмацзяоу, D₃wz – Ваньцзяцзи; 21) свиты: D₁hl – Хейлонгтонг; D₂hn – Хонгчуань, D₂fk – Фуеннгутун; 22) свиты: D₁sp – Синжонг; D₂xh – Сяохэйтай, D₂lt – Лаотудингзи, D₃gl – Ци-ли-ашань; 23) D₁t – толща туфоалевролитов и туфопесчаников; 24) D_{2,3}lt – лютторгская свита; 25) D₁i – толща известняков и спилитов; 26) D_{2,3}lt – лютторгская свита; 27) свиты: D_{1,2}ap – анхепская, D₂pp – пуапская, D₂sk – сакненская; 28) D_{2,3}?k – толща конгломератов; 29) D₃an – свита Аиносава (70 м); 30) D₂?st – свита (метаморфические комплексы) Самбагава (3500–6480 м).
Нестратифицирующиеся магматические комплексы: rD₁s – риолитовый синегорский (субвулканический), v-γ D₁?k – габбро-сиенит-гранитовый кленовский (субвулканический), βD₃l – базитовый лунзенский (субвулканический), γDt – гранитовый Тигибу (плутонический).
Условные обозначения пород см. рис. А

3. Вассиановская свита (530–2010 м) включает в средней части единичные маломощные прослои и линзы фораминиферовых известняков [10] со среднепозднедевонскими (*Bisphaera elegans* Viss., *Cribrosphaeroides simplex* Reitl., Tournayellidae) и девонскими (*Semitextularia* sp.) формами. Она охватывает часть средневерхнедевонского разреза и согласно перекрывается верхнедевонской «немой» лунзенской свитой, которая в свою очередь согласно перекрыта светлороевской толщей с раннекарбонowymi фораминиферами *Planodiscus* cf. *eospirillinoides* Brazhn., *Eosigmoilina* ex gr. *explicata* Gan., *Rectocornuspira* (?) sp. [8].

4. Лунзенская (левочерниговская) свита (790 м) и ее фациальный аналог снегуровская толща (1120–2300 м) не содержат органических остатков и условно отнесены к верхнему девону, учитывая их стратиграфическое положение.

5. Лютторгская свита (490–1120 м) охватывает средневерхнедевонскую часть разреза, замещая по простиранию вассиановскую и лунзенскую свиты, а также снегуровскую толщу [16]. Насыщена флорой – проптеридофитами, риниофитами, примитивными птеридофитами, а также растениями неопределенного систематического положения. Н.М. Петросян выделила эйфельский и живетский флористические комплексы условно [23, 26].

Первый из них комплекс отличается бедностью видов и определяется по присутствию *Taeniocrada decheniana* (Goep.) Kr. et Weyl., *Barrandainopsis* sp., *Tomiphyton primaevum* f. *angusta* Petr., *Aphylopteris* sp., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern., *Platyphyllum* sp. Возраст комплекса устанавливается по наличию *Tomiphyton primaevum* f. *angusta* – формы, известной из эйфеля Алтае-Саянской горной области. По мнению В.Г. Зиминной и Л.А. Изосова [4, 27], возможна и более древняя датировка – между ранним и средним девоном; эта точка зрения основана на данных В.А. Красилова [21], определившего в низах лютторгской свиты раннедевонские *Germanophyton* sp., *Platyphullum* sp., *Psilophyrites* sp.

Второй комплекс богат растительными остатками: *Psilophyrites* cf. *arcticum* Hoeg, *Thursophyton* cf. *milleri* (Salt.) Nath., *Taeniocrada decheniana* (Goep.) Kr. et Weyl., *T.* cf. *gracilis* Tschir., *Barrandainopsis* cf. *beliakovii* Kr., *Drepanophycus spinaeformis* Goep., *Protolepidodendron sharyanum* Kr., *Blasaria* sp., *Hyeniasphenophylloides* Nath., *Uralia minussinskensis* Petr., *Protocephalopteris praecox* (Hoeg) A. An., *Svalbardia polymorpha* Hoeg, *Aphylopteris tenuis* Petr., *Pseudouralia sibirica* Petr. и др. В нем вместе с

растениями, широко распространенными в среднедевонское время в Норвегии, Алтае-Саянской горной области и на Шпицбергене, встречаются виды, характерные лишь для живетского века: *Taeniocrada* cf. *gracilis*, *Barrandeinopsis* cf. *beliakovii*, *Hyenia sphenophylloides*, *Pseudouralia sibirica*, *Svalbardia polymorpha*, *Aphylopteris tenuis*. В.Г. Зимица [4, 5] отделила от люторгской свиты самостоятельный стратон – шевелевскую толщу – на основании обнаруженных в ней остатков раннекаменноугольных *Sublepidodendron* (?) aff. *igrischense* V. Anan., *Lepidodendropsis concinna* Radcz. и *Protopteridium* (?) sp. С учетом этих данных можно достаточно уверенно отнести люторгскую свиту к среднему–верхнему девону, хотя не исключено, что в ряде районов ее накопление началось уже в конце раннего девона [4, 21].

Разрез 6. Российское Приморье, Кабаргинский прогиб.

Тамгинская свита (толщи: нижняя – 1600 м, средняя – 2270 м, верхняя – 680 м). В средней и верхней частях разреза в глинистых сланцах встречаются немногочисленные остатки раннедевонских растений из родов *Barragwanathia*, *Tastaephyton* и *Saxonia* [25, 27].

Разрез 7. Северо-Восточный Китай, Дахэчжэньский массив.

Дахэчжэньская свита (3700 м) палеонтологически не охарактеризована, по литологическому составу весьма близка к кордонкинской свите Приморья [16].

Разрез 8. Корея, Пхеннамский прогиб [34].

1. Свита Синжок (80–250 м), представленная преимущественно карбонатными породами (известняками и доломитами), содержит богатый комплекс раннеордовикских цефалопод (например, *Coreanoceras kemipoense* Kob., *Proterocameroceras mathieui* Grab.) и гастропод (например, *Helicotoma kanekoi* Kob., *Raphistoma ichimurai* Kob., *Cliospira* sp., *Maclurea* sp.) – более 16 родов и 23 видов, а также многочисленные остатки конодонтов (*Oistodus* sp., *Oneotodus* cf. *gracilis* Furnish, *Scolopodus* cf. *bassleri* Furnish, *S.* cf. *giganteus* Furnish). Кроме того, в низах свиты собраны раннеордовикские трилобиты *Asaphellus* sp., *Protopliomerops* sp., *Xenostegium* sp., *Ogyginus* sp., *Isotelus* sp., *Pliomera* sp.

2. Свита Мандал (310 м) также имеет карбонатный состав. В низах свиты в доломитах заключены среднеордовикские гастроподы *Maclurites bigsbyi* (Hall) и *Ecculiomphalus* sp.

3. Свита Сангсори (300–460 м) карбонатного состава иногда содержит прослой глинистых сланцев. В известняках обнаруживаются остатки позднеордовикских кораллов *Rhabdotetradium nobile* Sok., *Bogutschanophycus mariae* Korde, *Agetolites huangi* Lin, *Favistella alveolata* (Goldfuss) и др.

4. Свита Коксан (55 м) преимущественно карбонатного состава включает многочисленные фаунистические остатки, которые позволяют отнести ее к лландовери–венлоку [34]: кораллы *Halysites* sp., *Favosites forbesi* Edw. et H., *Favosites* sp., *Syringopora* aff. *bifurcata* Lonsd., *Cystiphyllum ompymiforme* Grab., *Tryplasma kaolingpoense* Isin., *Brachiellasma* sp., цефалоподы *Virgoceras* sp., брахиоподы *Atrypa* cf. *reticularis* L., *Atrypa* sp., *Acrospirifer* sp., *Zygospira* cf. *cueichowensis* Wang, граптолиты *Cyrtograptus* sp.

5. Свита Волянгри (25–40 м) карбонатного состава содержит богатый комплекс венлок-пржидольских кораллов [34]: *Heliolites* sp., *Halysites* sp., *Favosites forbesi* Edw. et H., *Favosites* cf. *malungensis* Edw. et H., *Favosites* sp., *Cystiphyllum ompymiforme* Grab., *Brachiellasma* sp., *Tryplasma* cf. *kaolingpoense* Isin., *Hormotoma* cf. *kutsingensis* Grab., *Cystiphyllum* sp.

Разрез 9. Корея, Самчхокский прогиб.

1. В свите Хангмае (50–200 м), помимо карбонатных пород, встречаются конгломераты. В известняках собраны конодонты – представители родов *Polyscaulodus*, *Trichonodella*, *Scolopodus*, *Drepanodus* и *Distodus*, которые позволили с большой долей вероятности оценить ее возраст как среднеордовикский [33].

2. Свита Хэдонгри (200 м), сложенная одними карбонатами, охватывает низы нижнего силура – низы верхнего силура, учитывая собранный в ней комплекс конодонтов [33]: *Pterosparthodus celloni* (Wall.), “*Ambalodus*” *galerus* Wall., “*Ambalodus*” (?) *hoedongensis* Lee, “*Diadelognathus*” *primus* Nic. et Rexr., “*Belodella*” sp., “*Carniodus*” cf. *carinthiacus* Wall. и “*Distomodus*” *egregia* (Wall.).

Разрез 10–11. Японское море. Зоны Витязя – Алпатова и Ямато.

Толща терригенных и вулканогенных пород (мощность не установлена), метаморфизованных в зеленосланцевой фации, по литологическому составу может быть параллелизована с нижнесилурийской кордонкинской свитой Туманган-Лаоэлин-Гродековской зоны [16–18].

Разрез 12. Япония, массив Хида.

1. Свита Йошики (мощность не установлена). Имеются довольно скудные сведения [1, 32] о наличии на Японских островах карбонатных отложений с ордовикскими радиолариями и остракодами.

2. Свита Хитоегане (≤ 300 м). В известняках обнаружены кораллы *Kosovopeltis hidensis* Kob., трилобиты *Encrinurus fimbriatus* Kob., *Cheirurus hitoeganensis* Kob. et Igo, (средний лудлов), в прослоях туфосланцев – трилобиты *Encrinurus* cf. *kitakamiensis* Kob. (поздний лудлов или прждиол).

3. В свите Фукудзи (2260–2800 м) выделяются две биостратиграфические зоны: *Favosites baculoides* Barr. в нижней части и *F. hidensis* Kamei в верхах разреза. Раннесреднедевонский возраст этого стратона определяется по присутствию таких форм кораллов, как *Gephuropora fukujensis* (Kamei), *Tipheophyllum dilatoseptatum* (Kamei), *Keriophyllum* sp., *Calceola* sp., а также трилобитов *Cheirurus (Crotalocephalus) japonicum* Kob. et Igo и *Scutellum (Thysanopeltis) paucispinosa* (Okubo).

4. Свита Кийоми (920 м) условно датируется поздним девоном по кораллам *Favosites* cf. *baculoides* (Barr.), *F. asper* d'Orb., *Clathrodictyon* sp., *Striatopora* sp., *Amphipora* sp.

Разрез 13. Япония, прогиб Хикороичи.

Свита Тобигамори (2000 м) содержит брахиоподы *Cyrtospirifer yabei* Okubo, *C. tobigamoriensis* Okubo, указывающие на ее фаменский возраст [32]. Кроме того, для нее характерны комплекс «флора Тобигамори»: *Leptophloeum* cf. *australe* (McCoy) Wal. и *Cyclostigma* sp. – и встречающиеся вместе с ним брахиоподы *Sinospirifer sinense* var. *australis* (Махв.), *Camarotoechia pleurodon* (Phill.), *Cladochonus* sp., *Spirifer* sp., *Orbiculoidea* sp., *Athyris* sp., *Chonetes* sp., *Productus (Linoproductus)* sp., *P. (Avonia)* sp. и др.

Разрез 14. Япония, прогиб Хикороичи.

1. Свита Окухиноцучи (90 м). Ее возраст (лландовери–венлок) определен [31, 32] по кораллам *Halysites* cf. *cratus* Sug., *H. labyrinthicus* Sug., *H. arisuensis* Sug., *Favosites* sp., *Falsicatenipora shikokuensis* Sug. и трилобитам *Encrinurus* sp. Свита коррелирует с толщиной известняков (S₁) свиты Гион-яма по присутствию коралла *Falsicatenipora shikokuensis* Sug. и считается более древней, чем свита Каваути.

2. Толща риолитов и их туфов (не более 500 м) отнесена к нижнему–среднему девону условно [32]. Взаимоотношения ее с нижнесилурийской свитой Окухиноцучи не определены.

Разрез 15. Япония, прогиб Хикороичи.

1. Свита Каваути (300–320 м). Для нее типичны строматопороидеи *Clathrodictyon regulare* (Rosen.), кораллы *Halysites kitakamiensis* Sug., *H. japonicus* Sug., *Favosites* cf. *baculoides* (Barr.), *F. asper* d'Orb. и трилобиты *Encrinurus (Coronocephalus)* sp. [1]. Т. Сугияма [1, 32] расчленил свиту Каваути на восемь горизонтов, содержащих строматопороидеи, кораллы и трилобиты (снизу):

1) известняки с *Favosites* (F): *Favosites* cf. *baculoides* (Barr.);

2) известняки с *Clathrodictyon* (C): *Actinostroma astroites* (Rosen.), *A. sakariense* Sug., *A. variable* Sug., *Clathrodictyon onukii* Sug., *C. tenuilaminatum* Sug., *C. giganteum* Sug., *Clavdictyon columnare* Sug., *C. japonicum* Sug., *C. delicatulum* Sug., *Amphipora cylindrica* Sug., *Heliolites* cf. *interstinctus* L., *Propora affinis* (Bill.), *Favosites* cf. *baculoides* (Barr.), *F. asper* d'Orb., *F. gotlandicus forma gotlandica* Lam., *Schedohalysites kitakamiensis* Sugiyama и *Tryplasma hayasakai* Sug.;

3–6) известняки с *Halysites* (H):

3) (**H**₁): *Heliolites bohemicus* Wentz., *H. sp.*, *Nipponophyllum japonica* Sug., *N. yabei* Sug., *Tryplasma japonica* Sug., *Cystiphyllum aseptatum* Wentz., *Rhizophyllum unulatum* Sug.;

4) (**H**₂): *Heliolites decipens* (McCoy), *H. bohemicus* Wentz., *H. barrandei* (Hoern.), *Favosites asper* D'Orb., *Alveolites simplex* (Barr.), *Halysites kitakamiensis* Sug.; *Spongophyllum yoshii* Sug., *Tryplasma higutizawaensis* Sug., *T. ozakii* Sug.;

5) (**H**₃): *Heliolites decipens* (McCoy), *H. bohemicus* Wentz., *Favosites asper* d'Orb., *Halysites kitakamiensis* Sug., *H. japonicus* Sug., *Tryplasma ozakii* Sug., *Cyathophyllum* sp.;

6) (**H**₄): *Actinostroma takainariense* Sug., *Clathrodictyon regulare* (Rosen.), *C. sp.*, *Kitakamiia mirabilis* Sug., *Heliolites cf. interstinctus* L., *H. decipens* (McCoy), *H. arboreus* Sug., *Plasmoporella minutissima* Sug., *Propora affinis* (Bill.), *Favosites asper aokii* Sug., *F. sp.*, *Alveolites simplex* (Barr.), *Halysites kitakamiensis* Sug., *Chaetetes* sp., *Pachypora kitakamiensis* Sug., *Coenites triangularis* Sug., *C. sp.*, *Syringopora cf. tonkinensis* Mansuy, *Aulopora* sp.; *Helminthidium cf. mirum* Lind., *Tryplasma hayasakai multiseptata* Sug., *T. ozakii* Sug., *Cyathophyllum* sp., *Plasmophylloid coral* Sug.;

7) известняки с *Encrinurus (Coronocephalus)* sp. (**E**);

8) известняки с *Solenopora* (**S**): *Kitakamiphyllum cylindricum* Sug., *Tryplasma* sp., *Halysites kitakamiensis* Sug., *H. japonicus* Sug.

Т. Сугияма коррелирует выделенные горизонты следующим образом: **F** – самые низы лудлова, **C + H** – низы лудлова, или толща известняков (**S**_{2i}) серии Гион-яма, содержащая *Schedohalysites kitakamiensis* Sug., **E + S** – средняя–верхняя часть лудлова.

М. Като [32] описал в свите Каваути более 75 видов фауны и выделил среди них как наиболее важные следующие: кораллы *Favosites gotlandicus* Lam., *Schedohalysites kitakamiensis* Sug., *Falsicatenipora japonica* Sug., *Nipponophyllum giganteum* Sug., трилобиты *Encrinurus kitakamiensis* Kob. и др.

Учитывая палеонтологические данные Т. Сугиямы, свита Каваути, вероятно, охватывает пограничные слои нижнего–верхнего силура: нижняя ее часть может быть сопоставлена с толщей **S**_{1i} (венлок), а по присутствию *Schedohalysites kitakamiensis* Sug. – с толщей **S**_{2i} (лудлов) серии Гион-яма. Кроме того, в толще **S**_{1i} встречаются конодонты *Ambalodus galerus* Wall. и *Pterospathodus amorphognathoides* Wall. (поздний лландовери – ранний венлок).

2. Свита Такаинари (40–115 м). В ней обнаружены многочисленные радиоларии, возраст которых, однако, не поддается определению. Поэтому свита, исходя из ее стратиграфического положения, одними исследователями относится к верхнему силуру, а другими – к низам девона [1].

3. Свита Оно (390 м). В прослоях известняков среди кислых вулканитов содержатся раннедевонские [1] строматопоридеи *Actinostroma cf. tenuiliatum* Sug., кораллы *Favosites cf. styriaca* (Pen.), *F. baculoides* Barr., *Thamnopora cristata* (Blum.), *Tryplasma* sp.

4. В свите Накадзато (750 м) собран представительный фаунистический комплекс [1, 32]. В базальных слоях – трилобиты *Dechenella (Dechenella) minima* (Okubo) и *Scutellum (Thysanopeltis) paucispinosa* (Okubo), брахиоподы *Undispirifer fimbriata* (Conr.), указывающие на эмс-живетский возраст отложений, кораллы *Calceola* sp. (эйфель), трилобиты *Phacops cf. latifrons* Okubo и брахиоподы *Atrypa desquamata japonica* Okubo (живет), а также кораллы *Heliolites* sp., трилобиты *Phacops nonakai* Okubo и брахиоподы *Zdimir* sp., *Stropheodonta cymbiformis* Swall., *S. boonensis* Swall., *Camarotoechia tethys* Bill., *Elytha* sp., *Chonetes* sp., *Schizophoria* sp., гастроподы *Murchisonia* sp. и *Pleurotomaria* sp.

Разрез 16. Япония, зона Хаячине [31, 32].

1. Стратифицирующийся магматический комплекс Хаячине («офиолит Хаячине») с изотопным возрастом пород до 484 млн лет имеет следующее строение (снизу): 1) «серпентиниты Накадаке» (серпентиниты, серпентинизированные ультрабазиты и габбро), 2) серия Кагура (ультрабазиты, габбро, долериты и трондъемиты), 3) свита Когуро (базальты и долериты с прослоями сланцев, песчаников, конгломератов, кремнистых пород и известняков).

Кровля «офиолита Хаячине» определяется согласным залеганием на нем «немых» свит Якушигава и Намейризава, которые имеют скользкие границы со свитами Одагои и Орикабетогге с силурийскими окаменелостями. Поэтому «офиолит Хаячине» может иметь ордовикско-силурийский или силурийский возраст. В самом деле, не исключено, что, с одной стороны, комплекс Хаячине вместе с перекрывающими его нижнесилурийскими отложениями в целом соответствуют нижнесилурийской кордонкинской свите Западного Приморья, с которой ассоциируются малые тела габброидов, пироксенитов и серпентинитов [16]. Однако взаимоотношения между ультраосновными породами и базитами, входящими в состав этой свиты, твердо не установлены. Таким образом, с другой стороны, возможно, первые могут относиться и к ордовику.

2. Свита Якушигава (около 75 м) относится условно к верхнему ордовику – нижнему силуру на основании ее стратиграфического положения (согласно залегает на нижнесреднеордовикских офиолитах и согласно перекрывается толщей, содержащей силурийские окаменелости).

3. Свита Намейризава (около 75 м) является стратиграфическим аналогом лландоверивенлокской свиты Окухиночучи и содержит тот же комплекс фауны.

4. Свита Одагои (около 75 м) сопоставляется с венлок-лудловской свитой Каваути [31].

5. Свита Орикабетогги (около 75 м) [31] включает среднелудловский–пржидольский комплекс кораллов и трилобитов: *Kosovopeltis hidensis* Kob., *Encrinurus fimbriatus* Kob., *E. cf. kitakamiensis* Kob., *Cheirurus hitoeganensis* Kob. et Igo.

Разрез 17. Япония, зона Хаячине [31, 32].

1. Стратифицирующийся магматический комплекс Хаячине (нижний–средний ордовик).

2. Серия Сеньюгатаки (нижний силур – верхний девон) имеет следующее строение: 1) толща базальтов (550 м), 2) толща риолитов (325 м), 3) толща песчаников (300 м). В нижней и верхней частях средней толщи найдены радиолярии: позднесилурийские (*Devoniglans unicus* Wakamat., *Pseudospongoprimum (?) tauversi* Noble и *Pseudospongoprimum sagittatum* Wakamat.) и раннедевонские (*Entactinaria* sp.). На границе средней и верхней толщ залегает горизонт с трилобитами девонского (?) возраста, а в верхах последней заключены остатки позднедевонских наземных растений комплекса Тобигамоори: *Leptophloeum cf. australe*, *Lepidodendropsis* sp. и *Cyclostigma* sp. [1, 31, 32].

Разрез 18. Япония, зона Титибу.

Серия Гион-яма (нижний силур – верхний девон) состоит из четырех толщ [32], нижняя из которых «немая»: 1) толща песчаников (50 м), 2) первая толща известняков (25 м), 3) вторая толща известняков (240 м), 4) толща туфопесчаников (1100 м). В первой толще известняков собраны кораллы *Halysites kuraokensis* Sug. и *H. suessmilchi* Sug., *Falsicatenipora shikokuensis* Sug., трилобиты *Coronocephalus kobayashii* Kob. et Igo, *Encrinurus* sp. и *Scutellum japonicum* (Okubo). Толща коррелирует с венлоком, хотя *C. kobayashii* Kob. et Igo из этих слоев сходен с некоторыми представителями рода *Coronocephalus*, известными в лландовери Китая. Кроме того, в первой толще известняков обнаружены конодонты *Ambalodus galerus* Wall. и *Pterospathodus amorphognathoides* Wall., которые имеют возраст поздний лландовери – ранний венлок. В ней также найдены перетолженные ордовикские конодонты, что свидетельствует о возможном присутствии здесь подстилающих образований этого возраста. Вторая толща известняков охарактеризована кораллами *Halysites tenuis* Sug., *H. bellulus* Sug., *H. cratus* Sug., *Schedohalysites kitakamiensis* Sug., *Falsicatenipora japonica* Sug., *Kodonophyllum* sp., брахиоподами *Conchidium cf. knightii* (Sow.) и др. (нижняя часть лудлова). Эта толща является одним из наиболее насыщенных трилобитами стратонев Японии, наиболее распространены роды *Bumastus* и *Encrinurus*. *Encrinurus nodai* Kob. происходит из верхов средней части силура, позднесилурийские трилобиты представлены *Bumastus (Bumastus) glomeratus* Kob., *Cerouroides orientalis* Kob., *Pseudoheirurus gomiensis* Kob., *Encrinurus yokokuriensis* Kob. и *E. subtrigonalis* Kob. Найденные в этом стратоне цефалоподы *Michelinoceras alticameratum* Kob. и др. имеют

раннелудловский возраст. Толща туфопесчаников в верхней части содержит *Leptophloeum* cf. *australe*, *Lepidodendropsis* sp., *Cyclostigma* sp. и другие растительные остатки, сходные с таковыми из верхнедевонской свиты Тобигагори. Поэтому данный стратон, возможно, охватывает верхний лудлов – верхний фамен. Большая часть толщи по литологии и мощности может быть условно сопоставлена с нижнедевонскими флористически охарактеризованными отложениями, развитыми на юге Ханкайского массива Приморья [16, 29].

Разрез 19. Северо-Восточный Китай, зона Йичун–Яньшоу.

Нижнесреднеордовикская серия Йичун–Яньшоу [36] расчленена на три согласно залегающие свиты:

1. Свита Баоцун (805 м) несогласно залегает на нижнем протерозое; палеонтологически не охарактеризована;

2. Свита Сяоцзингтоу (815 м) включает прослой биогенных известняков с брахиоподами *Vellamo* sp., *Opikina* sp., *Hesperorthis* sp. (пландейло),

3. Свита Дацинг (530 м) содержит прослой андезитов и базальтов с изотопным возрастом 442 млн лет и на этом основании относится к карадоку;

Девонский разрез (эмс и эйфель) представлен двумя свитами [36]:

4. Свита Хейлонггонг (1105 м) содержит пласты известняков с остатками брахиопод *Coelospirella orientalis* (Hamada) и *Leptaenopruxis bouei* (Varr.); взаимоотношения ее со свитой Дацинг неясны;

5. Свита Хонгчуань (270 м). В прослоях известняков обнаружены брахиоподы *Coelospirella dongbiensis minor* Su и *Acrospirifer dyadobomus* Su.

Разрез 20. Северо-Восточный Китай, Наннимский массив (Ляонинская антеклиз).

Здесь развиты нижнеордовикские карбонатные отложения, богатые остатками цефалопод, граптолитов, трилобитов, брахиопод, гастропод и конодонтов. Они расчленены на пять согласно залегающих стратонов [37].

1. Свита Ели (300 м). В ее нижней части залегают биокластические известняки, богатые окаменелостями. Выделяется шесть перемежающихся трилобитовых и граптолитовых зон (снизу): 1) *Onychopyge–Alloleioestegium*, 2) *Anisongraptus–Dictyonema flabelliforme* var. *orientale* Sun, 3) *Aristokainella–Euleiestegium*, 4) *Levisonoceras–Leishuiceras*, 5) *Adelograptus–Clonograptus* и 6) *Asaphellus trinodosus* Chang – *Laishuiia*.

2. Свита Лянгцзяшань (330 м) богата остатками цефалопод из родов *Manchuroceras*, *Proteokapingoceras*, *Parapiloceras*, *Piloceras*, *Kaipingoceras*, *Hardmanoceras*, *Camenoceras*, *Coreamenaceras* и *Archaeoscyalta*.

3. Свита Сямацзингтоу (165 м) содержит остатки цефалопод *Ordosoceras* sp., *Wulinoceras* sp., *Kogenoceras* sp. и сосудистых растений *Polydesmia* sp.

4. Свита Шангмацзягоу (250 м) сложена чистыми известняками с окаменелостями, представляющих три зоны цефалопод и брахиопод (снизу): 1) *Stereoplasmoceras*, 2) *Leophospira*, 3) *Tofangoceras*.

Взаимоотношения между свитами Шангмацзягоу и Ваньцзяцзи неясны.

5. Свита Ваньцзяцзи (400 м). Возраст (живет – нижний фран) определен по кораллам *Syringopora* cf. *eifeliensis* Schlut., *Cythopyllum* sp., *Dendrostella wanjanjiensis* Guo и брахиоподам *Neospirifer* sp., *Orthotetes* sp., др. В этих же отложениях выявлены [3] комплексы брахиопод верхнего живета и нижнего фран, которые содержат виды, общие с дальневосточными. В верхнем живете это *Protoleptostrophia perplana* (Conr.), *Xenizostrophia hinganensis* Su, *Longispina mucronata* (Hall), *Spinatrypa waterlooensis* (Webst.), *Euryspirifer alatus* (Stuck.), *Eleuterokomma rhukensis* (Brice), *E. acutiplicata* Su, *Spinocyrthia martianoffi* (Stuck.), *Elytha fimbriata* (Conr.), *Cyrtina hamiltonensis* (Hall), *Athyris spiriferoides* (Eaton). В нижнем фране это *Cariniferella tioga* (Hall), *Eoschuchertella chemingensis* (Conr.) и *Whidbornella productoides* (Murch.).

Разрез 21. Северо-Восточный Китай, Цзилиньская зона.

В эту зону из зоны Йичун–Яньшоу прослеживаются:

1. Свита Хейлонгтонг (1105 м), которая содержит остатки брахиопод *Coelospirella orientalis* (Ham.), *Leptanoeruxis bouei* (Barr.), – эмс,

2. Свита Хонгчуань (270 м), включающая брахиоподы *Coelospirella dongbiensis* f. *minor* Su, *Acrospirifer dyadobomus* Su, – эйфель,

3. Свита Фусингтун (1315 м), относящаяся к живету [36] и согласно наращивающая разрез, охарактеризована растениями *Barsassia sibirica* Petr., *Taeniocrada decheniana* Kr. et Weyl., *Protolepidodendron* sp. и др. По литологическому составу она напоминает люторгскую свиту Приморья [16], также содержащую *Taeniocrada decheniana* Kr. et Weyl. и *Protolepidodendron* sp.

Разрез 22. Северо-Восточный Китай, Баоцинский прогиб.

Здесь китайские исследователи [36] описали достаточно полный разрез девона.

1. Свита Синжонг (15 м) отнесена к эмсу на том основании, что она богата спорами *Granulatisporites* sp. и *Retusotrilites* sp.

2. Свита Сяохэтай (25–285 м) содержит многочисленные остатки эйфельских кораллов *Gephuropora baoqingensis* Jang., мшанок *Fistulipora* cf. *irregularis* Jang., брахиопод *Euryspirifer grabau* Jang, *Leptostrophia heitaiensis* Jang, *Elymospirifer heitaiensis* Jang и конодонтов *Icriodus angustus* Stew. et Sw., *Coelocerodontus biconvexus* Bult.

3. Свита Шангхэтай (85–810 м), отнесенная к живету, содержит многочисленные споры ассоциации *Dibolisporites–Apiculiretusispora–Grandispora–Biornatispora*, а также брахиоподы *Discomyorthis* sp. и *Protoleptostrophia* sp. По данным М.Г. Органова и др. (1960), развитая в этом районе свита Хэтай (живет), расчлененная позднее на свиты Сяохэтай, Шангхэтай, Лаотудингзи и Цилигашань [36], охарактеризована кораллами *Favosites multispinosus* Yabe et Sug., мшанками *Fistulipora irregularis* Jang и брахиоподами *Atrypa aspera* var. *kwangsinensis* Grab., *Plectospirifer grabau* Yabe et Sug.

4. «Немая» свита Лаотудингзи (230–580 м) дацитовых и риолитовых туфов с прослоями песчаников согласно залегают на подстилающих отложениях и согласно же покрываются слоями с фаменской флорой.

5. В свите Цилигашань (105 м) собран небогатый комплекс флоры, считающийся китайскими исследователями [36] фаменским: *Aphylopteris* sp., *Psilophytites* sp. и *Hostimella* sp. Эти растения обнаружены также в средневерхнедевонской люторгской свите, входящей в чехол Ханкайского и Сергеевского массивов [4, 16, 23].

Разрез 23. Приморье, Южно-Синегорская впадина.

В развитой здесь на небольшой площади [16, 18] толще туфоалевролитов и туфопесчаников (650 м) встречаются довольно многочисленные позднедевонские фораминиферы *Parathuramina (Parathuramina) dagmarae* Sul., *P. (Salpingothuramina) vasiljevae* Pojark., *P.(S.) crassithec*a Antr., *Archaeosigellaria minima* Sul., *Archaeosphaera minima* Sul., *A. magna* Sul., *Bisphaera elegans* Viss., *B. cf. minima* Lip., *Cribrosphaeroides* cf. *simplex* Reitl., а также *Septaglomospiranella* (?) sp., *Chernyshinella* (?) sp. (вероятно, самые верхи фаменского яруса).

Разрез 24. Приморье, Ханкайский массив.

На самой южной оконечности Ханкайского массива имеются небольшие по площади выходы люторгской свиты (600 м), в которой собраны среднедевонские [4] растения *Tomiphyton primaevum* f. *angusta* и *Barrandeinopsis* sp.

Разрез 25. Приморье, Сихотэ-Алинская покровно-складчатая система.

Толща известняков и спилитов (300 м) слагает крупный клиппен Фудинов Камень. Фамен здесь установлен [16] в самой нижней части разреза по фораминиферам *Parathuramina* cf. *paulis* Bik., *Irregularina* sp., *Tuberitina* sp., *Bisphaera* sp., *Cribrosphaeroides* sp., *Septatotourayella* sp. и *Quasiendothyra* cf. *communis* (Rauser). Кроме того, установлены олистолиты позднедевонского возраста в верхнеюрско-нижнемеловой микститовой толще [9, 16, 30] (местонахождения Ключ Степанов, Ключ Большой, г. Бикин и др.): 1) в кремнях и известняках по фораминиферам *Parathuramina* cf. *vasiljevae* Pojar., (*Parathuraminites*) *cushmani* Sul., *P. (P.) suleimanivi* Lip., *P. (P.) stellata* Lip., *Irregularina* sp., *Archaeosphaera*

cf. *minima* Sul., *Eovolutina elementa* Antr., *E. asiatica* Sul. и *Septaglomospiranella* sp.; 2) по конодонтам *Ancyrodella* cf. *rotundiloba binodosa* Ueno и *A. aff. rotundiloba alata* Glenist. et Klapp., заключенным в нижней части маломощного слоя кремней, в верхах которого найдены уже раннекарбоновые формы (*Gnathodus* sp., *Gondolella* sp.).

Разрез 26. Приморье, Сергеевский массив.

Люторгская свита (200 м) залегает здесь на ордовикских (?) гранитах; в углистых туф-фитах обнаружены среднедевонские [26] *Pseudouralia* cf. *sibirica* и *Protolepidodendron* sp.

Разрез 27. Корея, Имджинганская зона.

В этой покровно-складчатой зоне имеется мощный разрез девона, который представляет римчжинскую серию, содержащую большое количество окаменелостей [34]:

1. Анхепская свита (50–850 м) охарактеризована раннесреднедевонскими брахиоподами *Atrypa dou* var. *lungkouchungensis* Tein, *A. dou* var. *changuliensis* Grab., *Schizophoria kutsingensis* Grab., остракодами *Lepirditia quangxiensis* Sun. и криноидеями *Anthinocrinus* aff. *floreus* Yelt., *Pentagonocyclicus levidiensis* Dub., *P. jucundus* Dub.

2. В пуапской свите (800–1670 м) встречаются многочисленные остатки гастропод *Tropidodiscus curvilincatus* (Conr.), остракод *Healdianella mutica* Abush., *Bythocypis* cf. *hilaris* Shi, *Leperditia severa* Shi, брахиопод *Atrypa desquamata muti hunanensis* Grab., *Cyrtospirifer sinensis* (Grab.), *Hunanospirifer* cf. *ningshiangensis* (Tien), *Camarotoehia shetienhiaoensis* Tien, *Tenticospirifer tenticulum* (Vern.), морских лилий *Pentagonocyclicus paucus* Dub., *P. glaber* Yelt., *P. jucundus* Dub., *P. mindus* Dub., *Trigonotrigonalis* sp., харовых водорослей *Phragmalites gangryongensis* Ham et Lee, *Ph. sygyoriensis* Ham et Lee, наземных растений *Taeniocrada decheniana* f. *lata* Tschirk., *T. decheniana* (Goepf.) Kr. et Weil., *Psilophyton* cf. *princeps* Daws., *Protopteridium hostimensis* (Krejci) Kr. et Weyl., *Pseudouralia sibirica* Petr., *Hostimella hostimensis* P. et B. Шесть последних видов растений часто встречаются в люторгской свите среднего–верхнего девона Приморья [16, 23, 26].

3. Сакненская свита (915–2532 м) содержит остатки позднедевонских брахиопод *Camarotoehia panderi* (Sem. et Moell.), *Glypsospirifer chui* (Grab.) и криноидей *Cyclocyclicus* sp., *Hexacrinites* (?) sp. и др.

Разрез 28. Японское море, Восточно-Корейский кристаллический блок.

Установленная на этой подводной возвышенности «немая» толща конгломератов (350–400 м) четко сопоставляется по литологическому составу со средневерхнедевонской вассиановской свитой Южно-Синегорской впадины Приморья [16–18].

Разрез 29. Япония, массив Китаками–Абукума.

В свите Аиносава (70 м) обнаружены [32] фаменские брахиоподы *Sinospirifer sinense* var. *australis* (Махв.) и *Cyrtospirifer* sp.

Колонка 30. Япония, зона Самбагава.

К девону с большой долей условности может быть отнесен метаморфический комплекс Самбагава [1, 32], сложенный основными и кислыми метавулканитами, конгломератами, глинистыми сланцами и кварцитами и расчлененный на пять серий: 1) Обокэ (1500 м), являющуюся стратиграфическим эквивалентом нижнедевонской свиты Оно, 2) Кавагути (500–1000 м), 3) Кобокэ (400 м), 4) Минава (500–2500 м) и 5) Одзеин (600–1080 м). Первая серия в типичном виде развита в центре о-ва Сикоку и включает четыре толщи метаморфитов: 1) «гнейсы Обокэ» – специфические кремнистые полосчатые породы, 2) графитовые кристаллические сланцы, 3) зеленые кристаллические сланцы и 4) конгломератовидные кристаллические сланцы. Судя по особенностям химического и минералогического состава, а также структурным признакам, «гнейсы Обокэ» – это метаморфизованные лавы и туфы кислого состава. Галька, содержащаяся в конгломератовидных кристаллических сланцах, представлена кислыми вулканитами порфириковой структуры. В составе остальной части комплекса Самбагава зачастую господствуют эффузивы и туфы metabазитов, которые представляют собой дериваты щелочной основной магмы. Во второй серии пелитовые сланцы чередуются с зеленокаменными породами, в третьей переслаиваются псаммитовые и пелитовые сланцы, четвертая сложена сланцами основного состава,

содержащими тонкие прослои кремнистых сланцев (по кислым вулканитам), пятая – пелитовыми и псаммитовыми сланцами.

При этом установлено, что черные пелитовые сланцы образовались за счет глинистых пород, кремнистые сланцы – кислых вулканитов и зеленокаменные метаморфиты – лав и туфов основного состава. Довольно обоснованным является предположение об одновозрастности части кислых метавулканитов комплекса Самбагава и кератофилов нижнедевонской свиты Оно [1].

В то же время, по данным петрохимических пересчетов [12], устанавливается тесная связь метаморфитов данного комплекса с раннесилурийскими магматитами кордонкинской свиты Туманган-Лаоэлин-Гродековской зоны. Кристаллические сланцы данного комплекса связаны постепенными переходами со слабо метаморфизованными и неизменными отложениями, известными в тектоническом поясе Титибу, в котором широко представлены силурийские и девонские кислые вулканиты и сланцы. Таким образом, с данных позиций авторами не исключается и силурийский возраст сланцев Самбагава.

Заключение

Дана подробная характеристика разрезов ниже- и среднепалеозойских отложений и связанных с ними вулканических, субвулканических, интрузивных и вулканоплутонических комплексов в различных регионах ЯЗ. Эти фундаментальные данные могут привлечь в своей работе исследователи стратиграфии и палеогеографии Дальнего Востока.

Морские ордовикские, силурийские и девонские отложения ЯЗ формировались в близкой палеогеографической обстановке, по существу в однотипных седиментационных бассейнах, соединявшихся с центральноазиатскими, приохотскими и австралийскими морями [2]. Континентальные осадки описанных разрезов представлены девонскими толщами, которые включают многочисленные растительные остатки, широко распространенные также в Центральном Казахстане, Западной Сибири, Приохотье и Южном Китае [2]. В результате проявления в Восточной Азии интенсивного мезозойско-кайнозойского тектогенеза и раскрытия в кайнозое Японского окраинного моря ниже- и среднепалеозойские отложения в ЯЗ во многих случаях были сильно дислоцированы и хорошо сохранились в основном в пределах остаточных докембрийских массивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическое развитие Японских островов. М.: Мир, 1968. 719 с.
2. Геология Северо-Восточной Азии. Стратиграфия и палеонтология. Л.: Недра. 1972. Т. 2. 527 с.
3. Грацианова Р.Т., Шишкина Г.Р. Состав и распространение позднеживетских и раннефранских брахиопод в азиатской части СССР и соседних регионах // Стратиграфия докембрия и фанерозоя Забайкалья и юга Дальнего Востока. Хабаровск. Мингео СССР. 1990. С. 74–77.
4. Зими́на В.Г., Изосов Л.А., Мельников Н.Г. К стратиграфии девонских отложений Ханкайского массива и его обрамления // Новые данные по стратиграфии и палеографии Дальнего Востока. Владивосток. ДВГИ ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 13–21.
5. Зими́на В.Г. Среднепозднепалеозойская флора Юга Дальнего Востока. Владивосток. ДВГИ ДВО АН СССР, 1991. 72 с.
6. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С., Крамчанин К.Ю., Огородний А.А. Вулканогенные полициклические окраинно-континентальные пояса Япономорского региона: палеозоны перехода континент – океан // Отеч. геология. 2015. № 1. С. 74–81.
7. Изосов Л.А., Кульков Н.П. Геология раннего–среднего палеозоя Япономорской зоны перехода континент – океан (обзор). Ч. 1 // Вестн. ДВО РАН. 2019. № 4. С.
8. Изосов Л.А., Никитина А.П., Старов О.Г., Никогосян В.А. Карбон Юго-Западного Приморья // Новые данные по биостратиграфии палеозоя и мезозоя юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВГИ ДВО АН СССР, 1990. С. 69–71.
9. Изосов Л.А. Морской девон Приморья // Изв. АН СССР. Серия геол. 1978. № 4. С. 82–86.

10. Изосов Л.А., Поярко Б.В. Первая находка девонских фораминифер в Южном Приморье // ДАН СССР. 1976. Т. 227, № 2. С. 425–426.
11. Изосов Л.А., Евланова М.А., Корень Т.Н. Первая находка силурийских граптолитов в Приморье // ДАН СССР. 1983. Т. 269, № 5. С. 1153–1155.
12. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. Проблемы геологии и алмазности зоны перехода континент–океан (Япономорский и Желтоморский регионы). Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.
13. Изосов Л.А. Проблемы раннесреднепалеозойской геологии Япономорского региона // Регион. проблемы. 2010. Т. 13, № 1. С. 5–10.
14. Изосов Л.А., Емельянова Т.А. Раннепалеозойский магматизм и тектоника Япономорской окраины Азии // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: материалы науч. конф. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. 2006. С. 35–38.
15. Изосов Л.А., Кандауров А.Т., Бажанов В.А., Корень Т.Н., Шишкина Г.Р., Колобова И.М., Кульков Н.П. Силурийские отложения Приморья // Тихоокеан. геология. 1988. № 5. С. 75–82.
16. Изосов Л.А. Среднепалеозойские формации и тектоника Япономорского региона. Владивосток. Дальнаука, 2002, 278 с.
17. Изосов Л.А., Леликов Е.П. Средний палеозой Япономорского региона // Тектоника, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики. Хабаровск. ИТиГ ДВО РАН. 1992. Ч. 1. С. 62–67.
18. Изосов Л.А. Формации силура, девона и карбона Приморского края // Сов. геология. 1992. № 3. С. 35–45.
19. Изосов Л.А. Формационный анализ и его место в современной геологической науке // Регион. проблемы. 2011. Т. 14, № 2. С. 21–27.
20. Изосов Л.А., Горошко М.В. Южно-Синегорская впадина Приморья: геологическое строение и развитие // Отеч. геология. 2006. № 3. С. 33–40.
21. Красилов В.А. Первые находки девонской флоры в Приморье // ДАН СССР. 1968. Т. 183, № 1. С. 173–176.
22. Кульков Н.П. Силурийские брахиоподы Дальнего Востока России и их биогеографические связи. Новосибирск: СНИИГГИМС, 2009. 43 с.
23. Мельников Н.Г., Бураго В.И. Девонские отложения Приморья // Палеозой Дальнего Востока. Хабаровск: ИТиГ ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 130–138.
24. Окунева О.Г., Репина Л.Н. Биостратиграфия и фауна кембрия Приморья. Новосибирск: Наука, 1973. 284 с.
25. Олейник Ю.Н. Кембрий-силурийские отложения северной части Ханкайского массива // Информ. сб. Примор. геол. упр. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1968. С. 14–17.
26. Петросян Н.М. Растения // Стратиграфия СССР. Девонская система. М.: Недра, 1973. Кн. 2 С. 285–288.
27. Решения Четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Хабаровск, 1990 г.). Хабаровск: Хабаров. гос. горно-геол. Предприятие, 1994. 124 с.
28. Смирнов А.М. Сочленение Китайской платформы с Тихоокеанским складчатым поясом. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 157 с.
29. Старов О.Г., Изосов Л.А., Мельников Н.Г., Петросян Н.М. О нижнедевонских отложениях Южного Приморья // ДАН СССР. 1985. Т. 282, № 1. С. 166–167.
30. Ханчук А.И., Панченко И.В., Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в палеозое и мезозое. Владивосток: ДВГИ ДВО АН СССР, 1988. 56 с.
31. Ehiro M., Kanisawa S. Origin and evolution of the South Kitakami Microcontinent during the Early-Middle Palaeozoic // Gondwana dispersion and Asian accretion: IGCP 321 Final Results Volume. Rotterdam: A.A. Balkema, 1999. P. 283–295.
32. Geology and mineral resources of Japan: Kawasaki-shi., 1977. Vol. 1. 430 p.
33. Geology of Korea. Seoul: Geol. Soc. of Korea, 1988. 514 p.
34. Geology of Korea. Pyongyang: Foreign Languages Books Publ., 1996. 629 p.
35. Izosov L.A. The marine Devonian sequence of Primorye // Intern. Geol. Rev. 1979. Vol. 21, N 1. P. 115–118.
36. Regional Geology of Heilongjiang Province. Beijing: Geol. Publ. House, 1992. 734 p. (Geological Memoirs. Ser. 1, N 33).
37. Regional Geology of Jilin Province. Beijing: Geol. Publ. House, 1989. 698 p. (Geological Memoirs. Ser. 1, N 10).
38. Rong Jia-yu, Boucot A.J., Su Yang-Zheng, Strusz D.L. Biogeographical analysis of Late Silurian brachiopod faunas, chiefly from Asia and Australia // Lethaia. 1995. Vol. 28. P. 39–60.
39. Tachibana K. Silurian brachiopods from the Kitakami Mountainland, North Japan // Ann. Rep. Fac. Educ. Iwate Univ. 1981. Vol. 40, N 2. P. 29–54.

Л.В. ГОРБАТЕНКО

Состояние водопользования и качество водной среды в бассейне озера Ханка

Для отдельных муниципальных территорий, расположенных в бассейне оз. Ханка, проведена комплексная оценка водопользования, в том числе точечных сбросов загрязняющих веществ предприятиями-водопользователями. Описан состав этих сбросов с указанием характерных для каждой территории и производственной отрасли загрязняющих веществ. Установлены водотоки с наибольшими объемами сбросов. Показано, что самыми загрязненными на протяжении многих лет являются небольшие реки с низкой самоочищающей способностью. Анализируются современные и ретроспективные особенности качественного состава речных вод бассейна в целом, приводится оценка динамики качества отдельных водотоков по удельным комбинаторным индексам загрязнения вод (УКИЗВ).

Ключевые слова: озеро Ханка, водопользование, загрязняющие вещества, водоемкие отрасли, эффективность очистки, индекс загрязнения стоков, самоочищающая способность, качество вод, предельно допустимые концентрации, хозяйственная деятельность.

Status of water use and water quality in the Khanka Lake basin. L.V. GORBATENKO (Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok).

At the level of municipal territories a comprehensive assessment of water use in the Khanka Lake basin, including point sources of polluting substances discharge by water use industrial enterprises, has been conducted. The composition of sewage with an indication of distinctive pollutants for every territory and industrial sector is analyzed. Watercourses for which the volumes of pollutants discharges are the largest are identified. The most polluted of them over the many years are shown to be the small rivers with low self-cleaning capability. The modern and retrospective features of the river water quality in the Khanka Lake basin are analyzed, and the dynamics of the quality of some watercourses using calculated pollution indices is estimated.

Key words: Khanka Lake, water use, polluting substances, water-intensive industries, sewage treatment efficiency, sewage pollution index, river's self-cleaning ability, water quality, permissible concentrations, human activity.

Водная среда испытывает воздействие различных видов деятельности человека, ухудшающих ее природное качество. Между тем состояние этой среды влияет на здоровье населения, использующего воду в питьевых и хозяйственно-бытовых целях, сказывается на биоразнообразии водных экосистем, а также возможностях экологически чистого сельскохозяйственного производства в зонах, где вода применяется для орошения.

В процессе водопользования и хозяйственной деятельности происходит сброс загрязняющих веществ в водотоки. Оценка водопользования с точки зрения его воздействия на водную среду важна для любых территорий, в том числе тех, где имеются уникальные природные объекты и комплексы.

ГОРБАТЕНКО Лариса Вячеславовна – исполняющая обязанности научного сотрудника (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток). E-mail: glv@tig.dvo.ru

Работа выполнена в рамках проекта по Программе «Дальний Восток» 18-5-019 «Природные и техногенные экстремальные процессы в трансграничных бассейнах крупных рек: риски, методы оценки последствий и условий их минимизации (на примере бассейна Амура)».

Ханка – самое крупное озеро в Приморском крае. На территории его бассейна расположены водно-болотные угодья, которые с 1971 г. находятся под защитой международной Рамсарской конвенции (https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waterfowl.shtml). Здесь охраняются виды птиц, включенные в Красные книги РФ и МСОП (Международного союза охраны природы). В 1990 г. в бассейне создан государственный природный заповедник «Ханкайский», с 2005 г. имеющий статус биосферного, целью которого является охрана большого биоразнообразия уникального природного комплекса Приханкайской низменности. Агроклиматические условия и земельные ресурсы бассейна позволили развивать здесь сельскохозяйственное производство: в бассейне оз. Ханка находится почти 60 % посевных площадей Приморского края, или 279,7 из 474,3 тыс. га¹.

Все вышесказанное определяет актуальность проведенных нами анализа характеристик водопользования, включая оценку воздействия предприятий-водопользователей на водотоки бассейна, а также районирования территории бассейна по степени этого воздействия, сопоставления воздействия с самоочищающей способностью водотоков и качественным составом речных вод бассейна.

Материалы и методы

Поскольку водопользование является одним из факторов формирования качества водной среды, его характеристика должна быть комплексной, так как именно масштабами, структурой водопотребления, а также составом и состоянием очистки сбрасываемых сточных вод определяется загрязняющий эффект при использовании воды. Этот эффект зависит от видов экономической деятельности, которую осуществляют водопользователи.

На основе данных автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) за 2017 г. рассматриваются различные параметры водопользования, включая объемы сбрасываемых загрязняющих веществ от точечных источников, а также территориально-отраслевая характеристика сбросов. Сброс загрязняющих веществ оценивается как по абсолютным значениям, так и с использованием условного расчетного показателя. Для характеристики масштаба воздействия применен базовый методический подход, на котором основаны правила охраны вод от загрязнения: оценочные показатели воздействия сравниваются с самоочищающей способностью водотоков, показателем которой служит водность рек.

Качество водной среды рассматривается на примере поверхностных вод с использованием доступных данных Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Примгидромета). Территориальный уровень исследования включает муниципальные районы, полностью или частично расположенные на территории бассейна, и городской округ Спасск-Дальний. Не рассматривается Анучинский район, так как на той его ограниченной части, которая расположена в бассейне, не ведется хозяйственной деятельности.

Результаты и обсуждение

Реки бассейна оз. Ханка небольшие, основные из них – Илистая, Мельгуновка, Комиссаровка, Спасовка. Среднегодовой расход самой крупной из них, Илистой, в створе с. Халкидон составляет 20,3 м³/с (табл. 1), а диапазон колебаний годовых значений за периоды 1951–1987 и 2008–2016 гг. – от 4,2 до 62,1 м³/с.

Субъектами водопользования на территории бассейна являются население и производственные предприятия различных отраслей. Общая численность населения во всех

¹ Рассчитано по данным из: Приморский край. Основные показатели деятельности городских округов и муниципальных районов: стат. ежегодник / Приморскстат. Владивосток, 2018. 221 с.

Сток рек бассейна оз. Ханка в отдельных створах

Река (створ)	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой расход, м ³ /с	Среднегодовой объем стока, км ³
Комиссаровка (с. Ильинка)	2080	12,4	0,39
Мельгуновка (с. Луговой)	3450	11,1	0,35
Илистая (с. Халкидон)	4030	20,3	0,64
Абрамовка (с. Абрамовка)	839	2,88	0,09
Спасовка (г. Спасск-Дальний)	325	2,3	0,073
Кулешовка (с. Спасское)	322	1,7	0,054

Примечание. Использованы данные из: Доработка проекта СКИОВО по бассейну реки Амур. Кн. 1. Общая характеристика бассейна р. Амур. Кн. 1.7. Общая характеристика бассейна р. Усури: отчет ФГУП «РосНИИВХ». Екатеринбург, 2012. 108 с. – <http://www.amurbvu.ru/deyatelnost/skiovo/576-skiovo-po-basseynu-reki-amur.html> (дата обращения: 23.03.2019).

административных субъектах бассейна (без учета Октябрьского района) на 1 января 2018 г. составляла 203 тыс. чел., самое многочисленное – население г. Спасск-Дальний и Черниговского муниципального района (40,7 и 32,9 тыс. чел. соответственно).

По экономическому развитию административные территории бассейна оз. Ханка можно разделить на две группы (рис. 1).

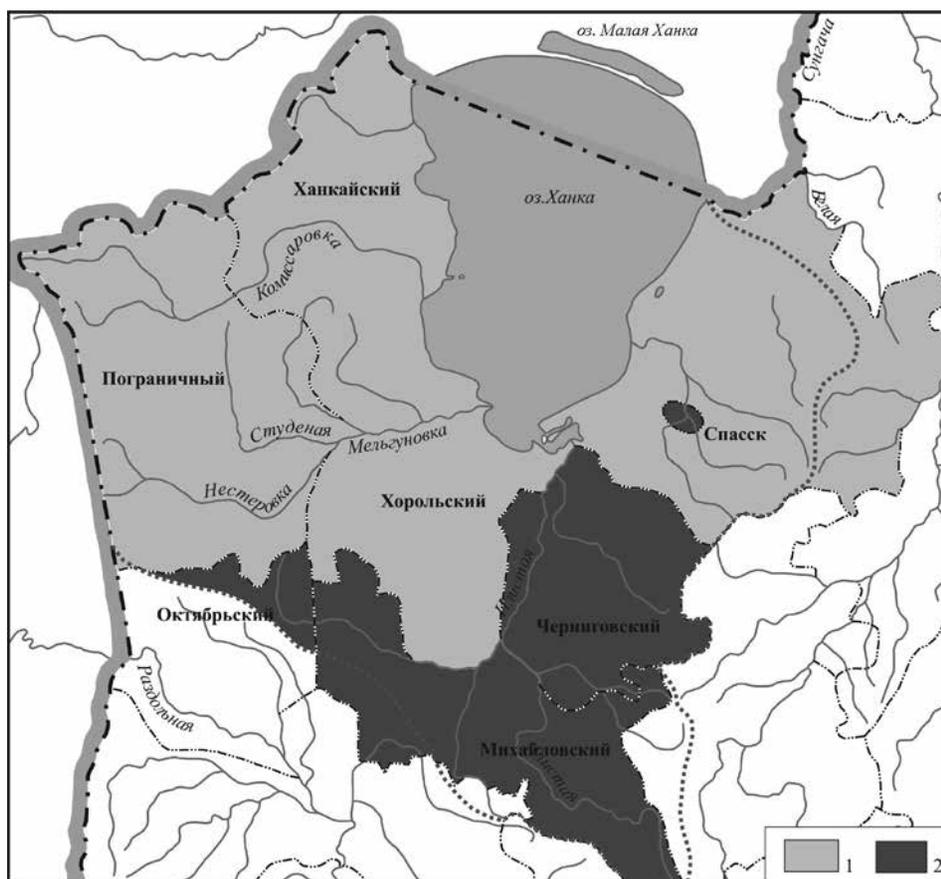


Рис. 1. Группировка административных районов бассейна оз. Ханка по экономическому развитию.

1 – районы с развитым сельским хозяйством и отсутствием обрабатывающих производств, за исключением мелких предприятий по переработке сельскохозяйственного сырья и пищевой промышленности; 2 – районы с наличием предприятий добывающих и обрабатывающих отраслей

К первой группе относятся Пограничный, Ханкайский, Хорольский и Спасский районы. Здесь развито сельское хозяйство, продукция которого в денежном выражении превышает объемы промышленного производства, при этом практически отсутствуют предприятия обрабатывающих отраслей, за исключением мелких предприятий по переработке сельскохозяйственного сырья и пищевой промышленности. К самым крупным производственным организациям относятся филиалы КГУП «Примтеплоэнерго», а также другие предприятия жилищно-коммунального хозяйства.

Во второй группе муниципальных районов и городском округе Спасск-Дальний имеются предприятия не только коммунальных услуг, но и добывающих и обрабатывающих отраслей. Так, в Михайловском районе действует разрез по добыче бурого угля «Павловский-2», в Октябрьском – разрез «Некковый» (каменный уголь). В Черниговском районе функционируют АО «Черниговский механический завод», выпускающий теплотехническое оборудование, АО «Литмаш», занимающееся обработкой отходов и лома черных металлов и производством готовых металлических изделий, а также Ремонтное локомотивное депо Сибирцево и предприятия строительной индустрии. В Спасске-Дальнем расположены производственные цеха ООО «Приморский механический завод», АО «Спасскцемент», АО «Спасский комбинат асбестоцементных изделий» и др.

Самой водоемкой отраслью на территории бассейна является рисосеяние. Посевные площади под рисом в Ханкайском, Хорольском, Спасском и Черниговском районах в 2017 г. составляли 8844 га, и на нужды орошения было использовано 81,6 млн м³ воды. Основной ее объем забирается в Ханкайском районе Ханкайским филиалом ФГБУ «Управление «Приммелиоводхоз», передающим часть этого объема для использования другим водопотребителям. В остальных районах общие объемы забора воды незначительные – от менее 1 млн м³ в Пограничном до 8,7 и 6,8 млн м³ в Михайловском районе и г. Спасск-Дальний соответственно. Нужды орошения преобладают (до 99,6 % потребляемого объема) в структуре использования воды в тех районах, где выращивается рис. На питьевые и хозяйственно-бытовые цели больше всего воды тратится в Пограничном, Октябрьском районах и г. Спасск-Дальний. В Михайловском муниципальном районе на производственные нужды расходуется более 70 % общего объема воды.

Самые значительные потери воды при транспортировке наблюдаются в Ханкайском районе, что, по-видимому, обусловлено большими потерями в оросительных каналах. Оборотное водоснабжение применяется в Спасске-Дальнем на предприятиях АО «Спасскцемент» и АО «Спасский комбинат асбестоцементных изделий» и в незначительном объеме – в Черниговском районе.

Основные объемы сточных вод сбрасываются сельскохозяйственными предприятиями, использующими воду для орошения, при этом сбрасываемая вода является нормативно чистой. Из всего объема сточных вод в бассейне оз. Ханка 22 % требуют очистки и всего 1 % сбрасываемого объема можно считать очищенными до нормативных показателей. Столь низкая доля очищенных вод объясняется отсутствием очистных сооружений на территориях Пограничного, Спасского и Ханкайского районов. В Хорольском районе мощность очистных сооружений составляет 1,47, Черниговском – 2,77, Михайловском – 17,5 и г. Спасск-Дальний – 4,69 млн м³/год, т.е. превышает потребности этих районов в очистке загрязненных стоков. При этом эффективность очистки очень низкая вследствие того, что технология очистки не соответствует категории и составу сточных вод либо сами очистные сооружения находятся в неудовлетворительном техническом состоянии. Таким образом, показатель эффективности очистки вод, рассчитанный как доля нормативно очищенных вод от всего объема стоков, прошедших очистку, в целом по бассейну составляет чуть более 1 % (табл. 2).

Указанные в табл. 2 объемы сточных вод включают шахтно-рудничные и карьерные воды, отводимые при добыче угля: в Михайловском районе на двух участках угольного разреза «Павловский-2» (5,74 и 1,04 млн м³ соответственно), Октябрьском (0,06 и 0,38 млн м³) и Хорольском (0,70 млн м³ карьерных вод) районах. В карьерах разреза «Павловский-2»

Таблица 2

Показатели водоотведения в административных районах бассейна оз. Ханка в 2017 г., млн м³

Район	Сброс сточных вод, всего	Объем сточных вод				Эффективность очистки, %
		требующих очистки	нормативно очищенных	без очистки	недостаточно очищенных	
Ханкайский	32,2	0,35	0	0,35	0	–
Пограничный	0,55	0,31	0	0,31	0	–
Хорольский	13,5	1,21	0	0,96	0,25	0
Михайловский	7,49	7,47	0	0,29	7,17	0
Черниговский	1,39	0,5	0,12	0,05	0,33	27
Спасский	0,04	0,02	0	0,02	0	–
г. Спасск-Дальний	2,80	2,78	0	0,18	2,59	0
Октябрьский	1,35	0,51	0,03	0	0,48	6
Всего	59,32	13,15	0,15	2,16	10,82	1,4

Примечание. Прочерк означает, что весь объем сточных вод, требующих очистки, сбрасывается в водотоки без очистки.

функционируют водоотливные установки, перекачивающие воду в пруды-отстойники, из которых по отводящим каналам вода самотеком сбрасывается в р. Абрамовка [7], т.е. очистка здесь только механическая.

Предприятия-водопользователи со сточными водами сбрасывают в водотоки различные загрязняющие вещества – органические, металлы, нефтепродукты, СПАВ, фенолы и др. (табл. 3). В 2017 г. было сброшено 1,56 тыс. т загрязняющих веществ, из них в наибольшем объеме – взвешенных и легкоокисляемых органических веществ по БПК_{полн.} (704 и 424 т соответственно). Кроме того, в бассейн озера с территории всех административных субъектов в 2017 г. в водотоки попало 15,2 т нитратов, 1,5 т нитритов, 76,6 т азота аммонийного, 150 т хлоридов, 130 т сульфатов, 38 т фосфатов, основная часть из них – с коммунально-бытовыми стоками.

Таблица 3

Сброс загрязняющих веществ со сточными водами предприятий в бассейне оз. Ханка (объемы нефти, нефтепродуктов и загрязняющих веществ по БПК_{полн.} – в тоннах, остальных веществ – в кг)

Район	БПК _{полн.}	Нефть и нефтепродукты	СПАВ	Фенол	Al ³⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe
Пограничный	0	0	0	0,0	0	0	0	0
Спасский	0	0	0	0,0	0	0	0	0
Ханкайский	1,4	0,0	170	0,3	0	0	0	33,0
Хорольский	67,4	0,3	471	9,1	0	0	0	385
Черниговский	179	0,3	850	5,0	0	0	0	803
Михайловский	53,3	0,6	535	8,9	781	10,3	97,8	789
Октябрьский	35,7	0,2	1473	33,3	1,4	38,0	0,2	92,5
г. Спасск-Дальний	87,3	0,4	1435	8,1	0	0	0,9	1259
Всего	424	1,8	4935	64,7	782	48,3	98,9	3360

Специфика сброса загрязняющих веществ на территории бассейна определяется в первую очередь наличием тех или иных производств с их характерными загрязнителями.

В Хорольском муниципальном районе около 60 % объема загрязненных сточных вод поступает при добыче металлических руд. В них содержится 100 % сбрасываемого в районе и в целом по бассейну фтора и трудноокисляемых органических веществ по ХПК (1,7 и 6,0 т соответственно). Добывающую отрасль здесь представляет Ярославская горнорудная компания (Ярославский ГОК), выпускавшая из флюоритовой руды флотационный плавинокшатовый концентрат. Комбинат прекратил работу еще в 2013 г., но, видимо,

по-прежнему осуществляет водоотлив карьерных вод. Предприятия по забору, очистке и распределению воды сбрасывают от 82 до 99 % взвешенных веществ, легкоокисляемых органических веществ, нефтепродуктов, СПАВ, железа, азота аммонийного и около 60 % фосфатов.

В Михайловском районе большая часть загрязненных сточных вод (6,78 из 7,47 млн м³, или 90 %) образуется при работе предприятий по добыче угля. В общем по району объеме сточных водах их доля составляет 100 % по алюминию, меди и цинку, 47 % по взвешенным веществам, 36 % по нефтепродуктам и 64 % по фенолам. Теплоснабжающими организациями и предприятиями по производству горячей воды (котельными), объем сброса загрязненных сточных вод которых составляет всего 4 % от общего по району, сбрасывается 100 % нитратов и нитритов, 12 % взвешенных веществ, 15 % СПАВ, 1–2 % железа и фосфатов. На предприятия по забору, очистке и распределению воды приходится основной объем поверхностно-активных веществ (85 %), 36 % фенолов, 60 % нефтепродуктов, 80 % легкоокисляемых органических веществ, 83 % азота аммонийного, 41 % взвешенных веществ. Остальной объем загрязняющих веществ сбрасывается предприятиями пищевой, металлургической, машиностроительной и других отраслей.

В Черниговском районе основными загрязнителями являются промышленные предприятия, организации военной безопасности и социального обеспечения. Доля загрязняющих веществ в общем объеме стока этих предприятий составляет 100 % по нефтепродуктам, СПАВ, нитратам, фосфатам и хлоридам, 95 % по фенолам. Остальная часть загрязняющих веществ отводится со сточными водами предприятий по производству пара и горячей воды, а также по забору и очистке воды.

В г. Спасск-Дальний практически весь объем (85 %) загрязненных сточных вод и основная доля загрязняющих веществ в их составе сбрасываются Спасским филиалом КГУП «Примтеплоэнерго». Это 88–100 % легкоокисляемых органических веществ, нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, железа, нитратов, азота аммонийного, фосфатов и хлоридов. Остальные вещества, в том числе 27 % нитритов, поступают от производства цемента и электрического оборудования и исправительных учреждений.

Согласно обобщенной оценке, проведенной с использованием расчетного индекса загрязнения стоков (ИЗС), представляющего собой объем воды, требуемый для разбавления концентраций загрязняющих веществ в сточных водах до уровня ПДК, принятых для водоемов рыбохозяйственного значения², наибольшая нагрузка на водотоки имеет место в тех районах, где находятся предприятия добывающих и обрабатывающих отраслей, т.е. в Михайловском, Черниговском районах, а также в г. Спасск-Дальний, где большой вклад в загрязняющий эффект вносят предприятия коммунального хозяйства. По данным за 2017 г., значения ИЗС для этих территорий составляли 705, 938 и 827 млн м³ соответственно (рис. 2).

ИЗС является удобным обобщенным показателем, который не содержит информации о структуре загрязнения, но позволяет сравнивать территории по испытываемой нагрузке и саму нагрузку с водностью, т.е. с самоочищающей способностью водотоков. Условное сопоставление суммарного среднесного стока основных рек бассейна, оцениваемого в 1,6 км³ в год, с суммарным по всем административным территориям бассейна значением ИЗС, составившего в 2017 г. 3,36 км³, показывает более чем двукратное превышение антропогенной нагрузки, вызванной сбросом загрязненных сточных вод в водотоки бассейна, над их разбавляющей способностью. Для отдельных рек такое превышение является более значительным. Так, среднесного сток р. Илистая в створе с. Халкидон ниже суммы ИЗС, рассчитанного по Михайловскому и Черниговскому районам, на территории которых находится основная часть бассейна реки, почти в 3 раза. Для р. Спасовка в створе

² Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20. – <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984> (дата обращения: 19.07.2019).

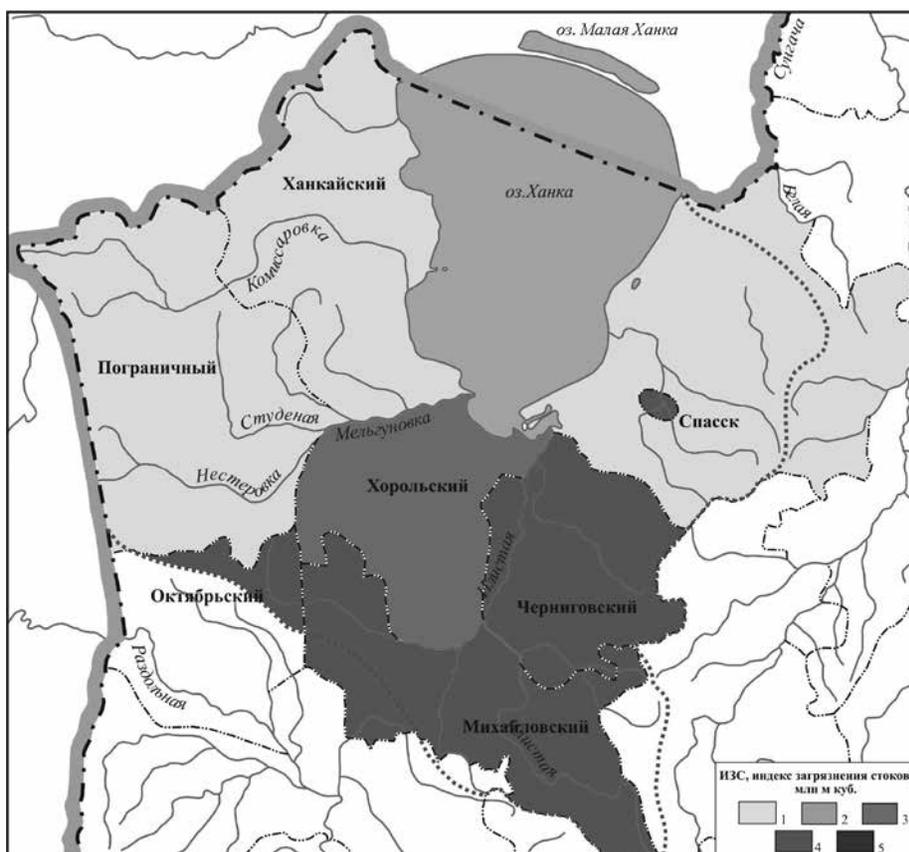


Рис. 2. Индекс загрязнения стоков в административных районах бассейна оз. Ханка в 2017 г., млн м³ в год: 1 – до 10; 2 – более 10, но не выше 100; 3 – более 100, но не выше 500; 4 – более 500, но не выше 1000; 5 – более 1000

г. Спасск-Дальний такое превышение составляет более чем 10 раз. При этом очевидно, что существует многолетняя и внутригодичная изменчивость речного стока, и поэтому в отдельные сезоны и годы превышение нагрузки еще более значительно.

Результаты расчета ИЗС показывают, что основной нагрузке при сбросе загрязняющих веществ подвергаются воды рек Илия, Спассовка и ее притока Кулешовка. По данным наблюдений за 2005–2017 гг., самые высокие значения удельных комбинаторных индексов загрязнения вод (УКИЗВ) фиксируются для рек Спассовка и Кулешовка: для р. Спассовка в 1 км ниже Спасска-Дальнего они изменялись в пределах 4–6, для р. Кулешовка – от 5 до 6 (рис. 3). При этом для указанных рек имеет место небольшая тенденция к снижению значений данного индекса.

Именно в реках Спассовка и Кулешовка, по данным Примгидромета, на протяжении длительного периода наиболее часто в сравнении с другими водотоками регистрируются случаи высокого загрязнения вод отдельными веществами. В частности, в 2016–2018 гг. в р. Спассовка наблюдались следующие уровни загрязнения: азотом аммонийным – 12–25 ПДК, азотом нитритным – 13–14 ПДК, алюминием – 11–13 ПДК, марганцем – 34–41 ПДК (рис. 4). В р. Кулешовка каждый год неоднократно фиксировались случаи загрязнения воды аммонийным азотом (15–25 ПДК), в единичных случаях – алюминием (10–12 ПДК) и марганцем (до 40 ПДК).

В р. Илия, которая также подвергается значительному воздействию сбрасываемых в нее сточных вод, качество воды благодаря большей самоочищающей способности и рассредоточенному расположению точек сброса сточных вод оценивается как более высокое,

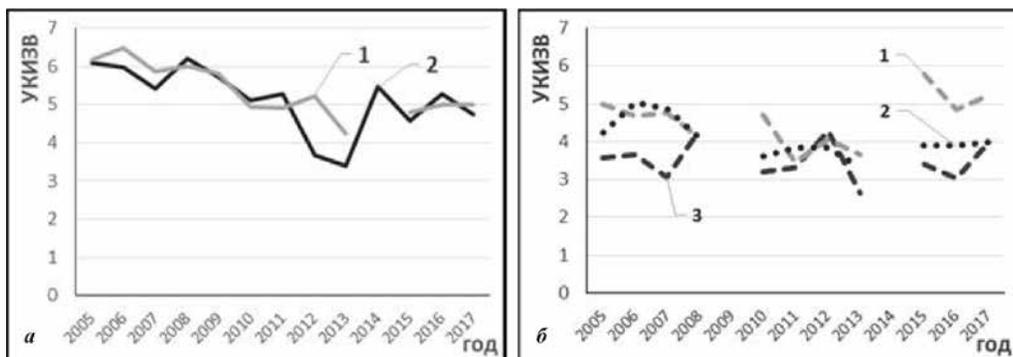


Рис. 3. Динамика качества вод рек бассейна оз. Ханка по УКИЗВ. а – р. Кулешовка, в 0,5 км выше устья (1); р. Спасовка, в 1 км ниже г. Спасск-Дальний (2); б – р. Нестеровка, ниже пос. Пограничный (1); р. Илистая, у с. Халкидон (2); р. Мельгуновка, у с. Луговой (3)

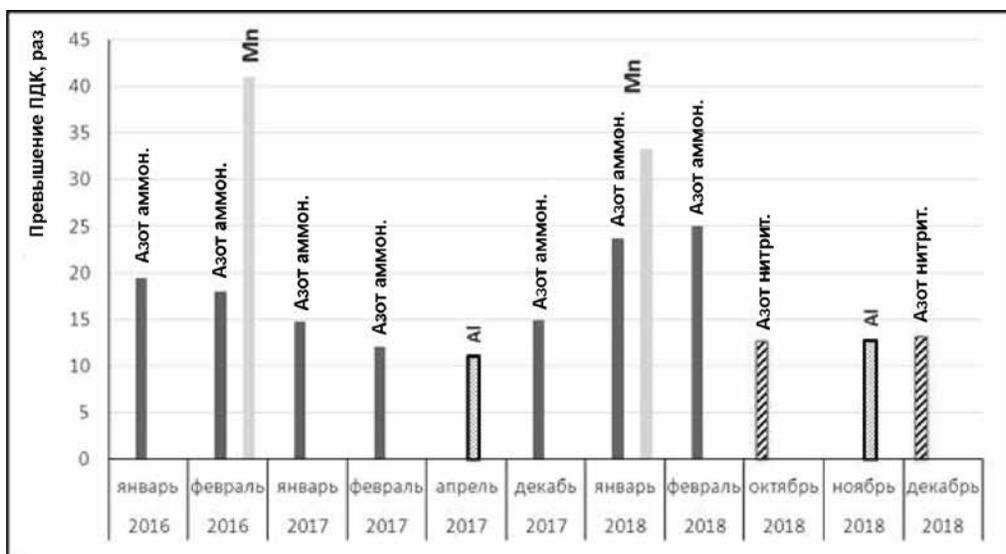


Рис. 4. Уровни сильного загрязнения отдельными веществами в р. Спасовка

чем в реках Кулешовка и Спасовка, – в диапазоне УКИЗВ от 3 до 5 (рис. 3). Стабильным является качество вод р. Мельгуновка в створе с. Луговой: УКИЗВ здесь в 2005–2017 гг. изменялся в пределах 2,6 – 4,3³. Река Нестеровка в створе ниже сброса коммунально-бытовых вод в пос. Пограничный относится к одной из самых загрязненных в бассейне оз. Ханка. Качество вод указанных водотоков в 2013–2016 гг. формировалось на фоне повышенной водности.

Общая оценка качества вод бассейна оз. Ханка за 2017 г. показывает, что среднегодовой уровень загрязненности водотоков в пунктах государственной сети наблюдений характеризуется классами качества 3 и 4, т.е. воды являются «загрязненными» и «грязными». Критическими критериями загрязненности вод, по которым наблюдается устойчивая либо характерная загрязненность, для рек бассейна оз. Ханка и вод самого озера в течение многих лет чаще всего являются алюминий, железо, марганец, а также азот аммонийный и нитритный (рис. 5).

³ Доклады об экологической ситуации в Приморском крае в 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 гг. Владивосток. – <https://pandia.ru/text/77/235/40223.php>; <https://docplayer.ru/26479367-Doklad-ob-ekologicheskoy-situacii-v-primorskom-krae.html>; <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php> (дата обращения: 11.02.2019).

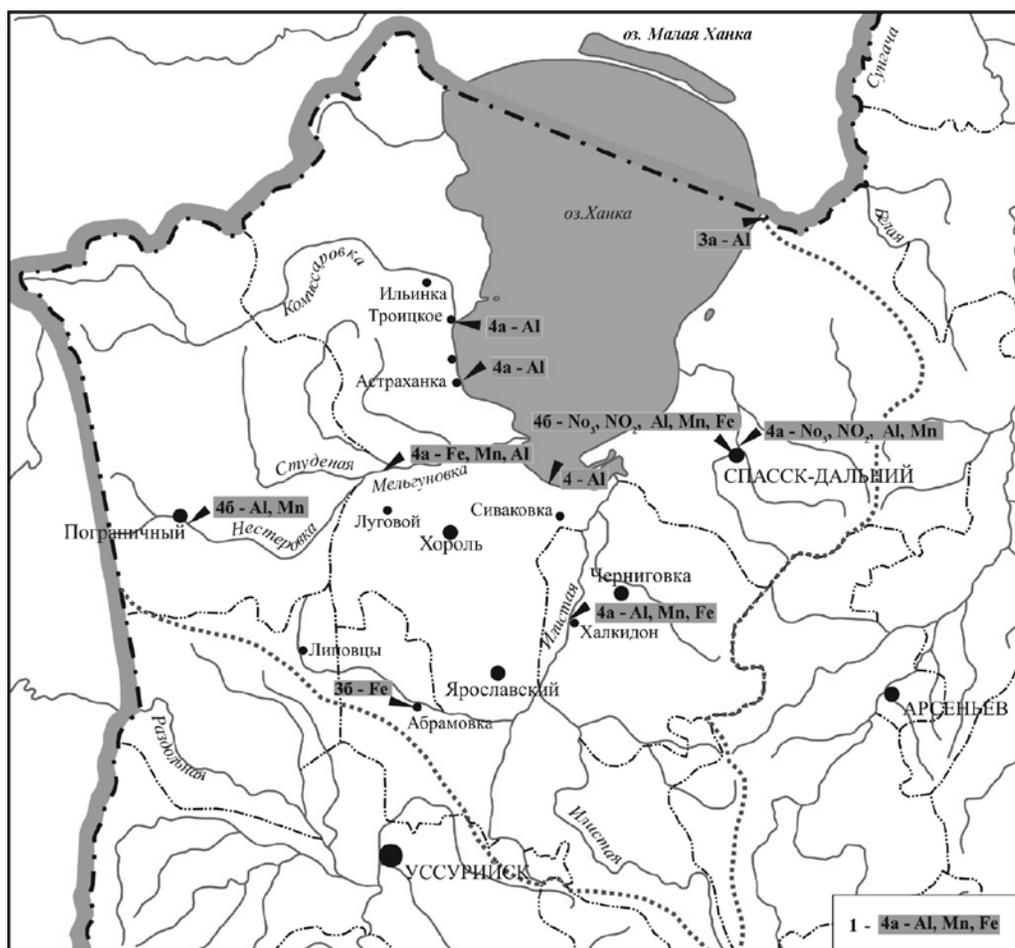


Рис. 5. Классы качества и критические показатели загрязненности вод в бассейне оз. Ханка. 1 – классы качества (3а, 3б, 4а, 4б) и критические показатели загрязненности вод Al, Mn, Fe.

Использованы данные из: Доклады об экологической ситуации в Приморском крае в 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 гг. Владивосток. – <https://pandia.ru/text/77/235/40223.php>; <https://docplayer.ru/26479367-Doklad-ob-ekologicheskoy-situacii-v-primorskom-kraye.html>; <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/report-on-the-environmental-situation-1.php> (дата обращения: 11.02.2019)

Следует подчеркнуть, что случаи сильного загрязнения рек алюминием (более 10 ПДК, или 0,4 мл/л) в 2015–2018 гг. фиксировались во всех пунктах гидрохимических наблюдений несколько раз в год: в створе р. Сунгача у с. Новомихайловское – на уровне 18–24 ПДК; р. Илистая у с. Халкидон – 18 ПДК; р. Мельгуновка у с. Луговой – 11–18 ПДК; р. Нестеровка как выше, так и ниже пос. Пограничный – 11–12 ПДК. Для вод самого озера, наблюдения за состоянием которых проводятся в селах Астраханка (в 0,5 и 24,1 км от берега), Сиваовка (в 1,8 км от устья р. Мельгуновка, 1,5 км от мыса Спасский, 6 км от мыса Калугина), Новосельское и Троицкое, также характерен высокий уровень загрязнения алюминием, регистрируемый несколько раз в год, в основном в период с мая по октябрь. В 2015–2018 гг. уровень загрязнения озерных вод алюминием составлял от 11 до 37 ПДК, в среднем – 15 ПДК.

Антропогенный сброс алюминия в настоящее время имеет место только в Михайловском районе при добыче угля в бассейне р. Абрамовка (приток р. Иистой). При этом важно, что наблюдения за качеством воды в этой реке проводятся в черте с. Абрамовка, а карьер угольного разреза «Павловский-2» и его отвалы расположены ниже по течению,

т.е. сбросы этого производственного объекта государственной сетью наблюдений не учитываются. Можно предположить, что алюминий попадает в водотоки также из отвалов и хвостохранилищ Ярославской горнорудной компании. Руды, перерабатывавшиеся этой компанией, по минералогическому составу относятся к карбонатно-слюдисто-флюоритовому типу, и их состав представлен в том числе светлыми слюдами и алюмосиликатами различного типа [2]. Соответственно отходы их обогащения, сконцентрированные в хвостохранилищах, включают не только флюорит, но и другие минералы, содержащие алюминий [9]. Кроме того, алюминий, являясь одним из основных породообразующих элементов, из-за своей высокой химической активности входит в виде алюмосиликатов в состав многих горных пород, слагающих водосборы бассейна оз. Ханка. Подобные породы встречаются в стратиграфических слоях различного возраста – от раннего кембрия до позднего голоцена. Это различные виды сланцев, аргиллиты, алевролиты, песчаники и др. Котловина оз. Ханка с юга и востока широкой полосой окружена лессоидами неоплейстоценового возраста. Аллювиальные отложения, в состав которых входят суглинки, слагают поймы и первые надпойменные террасы всех водотоков бассейна. Озерные отложения низкой террасы озера представлены суглинками, супесями, мелкозернистыми глинистыми песками, глинами [3].

В работе [11] при сравнении особенностей химического состава воды и взвесей различных рек Приморского края было показано, что алюминий в повышенных значениях отмечался именно в реках бассейна оз. Ханка: растворенный – в концентрациях в среднем 0,05 мг/л, во взвешенном веществе – 0,08 мг/г, максимальные значения составляли 0,31 и 0,1 мг/л соответственно.

Согласно требованиям к питьевой воде централизованного водоснабжения⁴ алюминий считается веществом 2-го класса опасности с ПДК 0,5 мг/л; для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения – 3-го класса с ПДК 0,2 мг/л⁵; для водоемов рыбохозяйственного назначения – 4-го класса с ПДК 0,04 мг/л⁶. В организм человека алюминий может попадать с водой, используемой для питьевых и бытовых целей. Еще совсем недавно, до строительства в 2012 г. группового скважинного водозабора, такой риск существовал для жителей пос. Камень-Рыболов, где для нужд населения использовались воды самого озера.

Имеются сведения о токсичности алюминия для человека. В частности, в работе [12] на обширном материале показано, что в избыточных концентрациях алюминий влияет на работу почек, центральной нервной системы, костной ткани, легких, мозга и других органов. Об остром отравлении лабораторных белых мышей раствором нитрата алюминия при подкожном введении отмечается в работе [1]. Здесь же указано, что отравление испытуемых алюминием клинически характеризовалось угнетением центральной нервной системы, язвеннонекротическими поражениями тканей и другими патологиями различных органов.

Уменьшение объемов хозяйственной деятельности в бассейне оз. Ханка в последние 20–30 лет не могло не привести к улучшению качества природных вод. Это наглядно видно на примере загрязненности вод хлорорганическими пестицидами. Пестициды группы

⁴ СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. М.: Минздрав России, 2002. – <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 04.03.2019).

⁵ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав РФ, 2003. – <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 23.04.2019).

⁶ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20. – <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984> (дата обращения: 19.10.2017).

ДДТ и ГХЦГ постоянно обнаруживались в значительных количествах в воде всех рек бассейна в створах, где в конце 1980-х годов проводился контроль загрязнения [4, 5]. В сбросных водах большинства рисовых совхозов в 1987 г. содержание ядохимикатов превышало нормативные показатели в десятки и сотни раз. Например, в стоках совхоза «Имени 50-летия СССР» это превышение составляло 195 раз, совхоза «Авангард» – в 275 раз [8]. После 1991 г. произошло резкое снижение концентраций хлорорганических пестицидов, но в силу высокой устойчивости они постоянно обнаруживались в воде озера, хотя и с уменьшением общего содержания и случаев высокого загрязнения [10]. Последний единственный случай высокого загрязнения ДДТ на уровне 4,7 ПДК отмечен 17 апреля 2008 г. в р. Спасовка в фоновом створе выше г. Спасск-Дальний [6].

Из тяжелых металлов в водотоках бассейна наибольшие концентрации ранее отмечались для меди. Среднегодовые ее значения в воде озера в 1988–2004 гг. составляли от 3 до 11 мкг/л (3–11 ПДК), а в р. Сунгача в 2005 г. – около 20 ПДК [10]. Максимальные концентрации меди, временами превышающие высокий уровень загрязнения (более 30 ПДК) и экстремально высокий уровень (более 50 ПДК), фиксировались в озере в районе пос. Камень-Рыболов [4]. В настоящее время содержание меди в водных объектах бассейна, по данным ГСН, не имеет критических уровней загрязненности.

Несмотря на снижение содержания отдельных загрязняющих веществ в водотоках бассейна оз. Ханка в последние 10–30 лет их воды, по данным Примгидромета, по-прежнему характеризуются как «загрязненные» и «грязные». Подобная оценка отражает в определенной степени современную методику расчета комплексных индексов загрязнения, применяемых Росгидрометом. С 2005 г. для характеристики качества природных вод ведомство использует такой показатель, как УКИЗВ, который учитывает не только превышение концентрации загрязняющих веществ в единицах ПДК, но и повторяемость этого превышения, что завышает значения современных расчетных индексов в сравнении с ранее использовавшимися и делает их несопоставимыми. Необходимо также учитывать, что определенный вклад в высокие значения расчетных индексов загрязнения вносят повышенные концентрации таких элементов, как железо, марганец и алюминий, обусловленные природным фоном.

Выводы

В результате анализа установлены территории, на которых воздействие предприятий-водопользователей на водные объекты бассейна оз. Ханка является наибольшим. Это развитые в промышленном отношении по сравнению с большинством других административных единиц Черниговский и Михайловский районы и г. Спасск-Дальний. Выявлена территориально-отраслевая специфика состава загрязненных сточных вод: фтор и трудноокисляемые органические вещества по ХПК в Хорольском районе сбрасываются Ярославским ГОК, который прекратил работу, но осуществляет сброс карьерных вод; алюминий находится в составе сточных вод разреза «Павловский-2» в Михайловском районе; значительная часть органических веществ по БПК_{полн.}, различных форм азота, фосфатов, фенолов, СПАВ поступает в реки от предприятий коммунального хозяйства в большинстве административных территорий.

Наибольшему воздействию точечных источников загрязнения подвергаются р. Спасовка, ее приток Кулешовка и р. Илистая. При этом самыми загрязненными, по данным Примгидромета, являются реки Спасовка, Кулешовка, где постоянно фиксируются случаи сильного загрязнения вод отдельными веществами, а также р. Нестеровка, т.е. самые малые из водотоков, на которых проводятся наблюдения. Это реки с низким стоком и соответственно незначительной способностью к самоочищению, для которых точечные сбросы загрязняющих веществ, возможно, являются основными факторами формирования качества вод.

Алюминий чаще всего среди прочих загрязняющих веществ регистрируется в водотоках бассейна и водах самого оз. Ханка на высоком уровне загрязнения, т.е. более 10 ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Представляется, что это обусловлено литологическим составом подстилающей поверхности водосборов, который характеризуется наличием пород, содержащих в своем составе алюминий.

Полученные результаты представляют интерес с точки зрения оценки в будущем соотношения точечных и рассредоточенных источников воздействия на формирование качества поверхностных вод на территории бассейна оз. Ханка и, следовательно, степени его контролируемости специально уполномоченными органами. Это в свою очередь может играть определенную роль в повышении эффективности усилий государства по контролю водной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановская А.Т. Патоморфологические проявления токсикодинамики соединений алюминия у животных: автореф. дис. ... канд. ветеринар. наук / Омский гос. аграр. ун-т. Омск, 2009. 19 с.
2. Гордиенко П., Ярусова С., Крысенко Г. и др. Переработка флюоритсодержащего минерального сырья и отходов Ярославского горно-обогатительного комбината. М.: Инфра-М, 2018. 115 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист L-(52), 53; (К-52, 53) – оз. Ханка: объясн. зап. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 684 с.
4. Диагностический анализ состояния окружающей среды бассейна оз. Ханка: национальный доклад Российской Федерации. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 1999. 149 с.
5. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 г.: экологическая программа. Ч. 2 / П.Я. Бакланов, Ю.И. Берсенева, В.Н. Борисова и др. Владивосток: Дальнаука, 1992. 276 с.
6. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Приморского края за 2007 год. Владивосток: Отдел водных ресурсов по Приморскому краю АБВУ, 2008. 117 с.
7. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Дальневосточного федерального округа за 2017 год. Вып. 17 / Дальневост. регион. центр гос. мониторинга состояния недр. Хабаровск, 2018. 392 с. – http://www.geomonitoring.ru/download/1В/2017_dfo.pdf (дата обращения: 21.06.2019).
8. Ралько В.Д., Чудаева В.А. Экологическое состояние бассейна оз. Ханка и предложения к долговременной программе его изучения и рационального использования: препр. / Тихоокеан. ин-т географии ДВО АН СССР. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 29 с.
9. Рассказов И.Ю., Грехнев Н.И., Александрова Т.Н. Техногенные месторождения в отвалах горно-обогатительных комбинатов Дальневосточного региона // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 102–114.
10. Семькина Г.И. Обзор состояния и загрязнения озера Ханка по материалам Государственной сети наблюдений за загрязнением окружающей среды // Проблемы сохранения водно-болотных угодий международного значения: озеро Ханка: тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Спасск-Дальний, 10–11 июня 2006 г. Владивосток: Идея, 2006. С. 190–200.
11. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 102–119.
12. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы // Экол. химия. 2012. № 21 (3). С. 172–186.

А.А. ЛЕГКОДИМОВ, М.А. БОВСУН, Д.А. ШВАЛОВ, Г.И. МИШУКОВА,
М.В. ИВАНОВ, Н.А. ЛИПИНСКАЯ, М.В. ШАПОВАЛОВА, А.Г. ШИЯНОВ

Предварительные результаты комплексных океанографических и геофизических наблюдений на профиле залив Петра Великого – Цусимский пролив (Японское море, октябрь 2019 г.)

Наиболее оперативную информацию о состоянии океана дает проведение комплексных исследований (гравиметрические наблюдения, измерения интенсивности флуоресценции, концентрации метана и хлорофилла-а в приповерхностном слое воды, ртути и газов в атмосферном воздухе) непосредственно во время следования судна. Наши исследования проводились на переходе Владивосток–Нячанг в период с 27 по 29 октября 2019 г. в Японском море в рамках рейса LV88 на НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Полученные данные отличаются высокой сходимостью с результатами прошлых экспедиций (например, рейс LV84, 2018 г.). Нами выявлены зоны аномальных концентраций метана (8,3 нмоль/л), углекислого газа (2,3 ppm) и ртути (4 нг/м³), а также отмечены гравитационные аномалии в Корейском проливе.

Ключевые слова: метан, углекислый газ, пограничный слой (вода–атмосфера), Японское море, гравиметрия, гидроакустика, флуоресценция, ртуть.

Preliminary results of integrated oceanographic and geophysical observations in the profile of Peter the Great Bay – Tsushima Strait (the Sea of Japan, October 2019). A.A. LEGKODIMOV¹, M.A. BOVSUN^{1,2}, D.A. SHVALOV¹, G.I. MISHUKOVA¹, M.V. IVANOV¹, N.A. LIPINSKAYA¹, M.V. SHAPOVALOVA¹ (¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, ²Far Eastern Federal University, Vladivostok), A.G. SHIYANOV³ (³Ural State Mining University, Ekaterinburg).

The study of the ocean by complex methods using a flow system and atmospheric air is currently one of the universal methods of obtaining express results (such as gravimetric observations, fluorescence intensity measurements, methane and chlorophyll-a concentrations in near-surface water, mercury and various gases in open air) directly during the vessel's sailing. The studies were conducted on the Vladivostok – Nha Trang traverse during October 27–29, 2019 in the Sea of Japan as a part of the LV88 voyage aboard the R/V “Academic M.A. Lavrent'yev”. According to the results of the study, abnormal zones of concentrations of methane (8.3 nM/l), carbon dioxide (2.3 ppm) and mercury (4 ng/m³) were identified. We have also noted gravitation anomalies in the Korean Strait.

Key words: methane, carbon dioxide, boundary layer (water-atmosphere), Sea of Japan, gravimetry, hydroacoustics, fluorescence, mercury.

*ЛЕГКОДИМОВ Алексей Александрович – аспирант, инженер, ШВАЛОВ Дмитрий Александрович – инженер, МИШУКОВА Галина Ивановна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ИВАНОВ Максим Владимирович – научный сотрудник, ЛИПИНСКАЯ Надежда Александровна – аспирант, старший инженер, ШАПОВАЛОВА Мария Валерьевна – старший инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), БОВСУН Мария Александровна – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), ШИЯНОВ Александр Геннадьевич – студент-магистр (Уральский государственный горный университет, Екатеринбург). *E-mail: legkodimov.aa@poi.dvo.ru

Исследование поддержано грантом РФФИ 18-05-00153 и частично грантами Комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы № 18-1-008 и 20-ВАНТ-010.

Введение

В настоящее время в связи с ускоряющимися и увеличивающимися в пространственных масштабах процессами изменения окружающей среды особую привлекательность имеют результаты комплексных измерений различных ее параметров на длинных расстояниях через акватории окраинных морей. Такие наблюдения выполняются в ходе одной или нескольких научно-исследовательских экспедиций в режиме мониторинга, данные оперативно обрабатываются на борту научно-исследовательского судна. 27–29 октября 2019 г. в 88-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (LV88) выполнен региональный комплексный профиль океанографических, геофизических и гидроакустических наблюдений в Японском море по маршруту зал. Петра Великого – Корейский пролив. Экспедиционные работы выполнены ТОИ ДВО РАН в ходе первого этапа экспедиции «Российско-вьетнамские комплексные океанологические исследования в Южно-Китайском море» в рамках государственного задания по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. раздела VIII «Науки о Земле».

Целями исследований являлись предварительная оценка ряда индикаторных океанографических параметров в пограничном слое вода–атмосфера (распределение парниковых газов, флуоресценции, атомарной ртути), а также изучение особенностей гравитационного поля. Наблюдения выполнены на протяжении регионального профиля в западной части Японского моря с различной дискретностью для разных методов и сопровождалась метео- и спутниковыми наблюдениями.

Методы и средства измерений

Температура и соленость морской воды

Для определения этих параметров в проточной системе использовался проточный термосалинограф SBE 45 SEACAT с отводом воды для опробования (диапазоны измерений: температуры воды – от -5 до +35 °С с точностью 0,002 °С, удельной электропроводности – 0–7 См/м с точностью 0,0003 См/м).

Метеоданные

Метеорологические датчики были установлены на палубе в носовой части корабля рядом с камерой забора воздуха газоанализатора. Для получения метеоданных (температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра) применялся метеокomплекс Davis Vantage Pro2 (США). Также был установлен портативный преобразователь метеоданных Vaisala Weather Transmitter WXT520 (Финляндия) на высоте 14 м.

Радиация

Фотосинтетическую радиацию определяли при помощи датчика Li-190 (Li-Cor, США), чистую – радиометром CNR4 Net Radiometer (Kipp & Zonen B.V., Нидерланды). Сбор и вывод метеорологических данных со всех датчиков осуществлялся измерительным и контрольным модулем DataLogger CR1000 (CampbellScientific, США).

Газогеохимические исследования

Концентрации метана в приповерхностном слое воды

Измерения проведены на профиле от Владивостока до Корейского пролива (рис. 1). Непрерывный забор воды осуществлялся насосом из носового кингстона (уровень забора воды 4 м от поверхности моря) во время движения судна. Отбор проб воды



Рис. 1. Район исследований и поток метана на границе вода–атмосфера вдоль движения НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс LV88 (октябрь 2019 г.)

производился с временной дискретностью 2 ч в стеклянные флаконы объемом 68 мл без контакта с атмосферой, которые плотно закрывались резиновой пробкой, при этом фиксировались время отбора и навигационная привязка к маршруту движения судна, а также записывались метеоданные с метеостанции. Расчеты содержания метана во всех образцах воды проводили методом равновесных концентраций HeadSpace. Для анализа использовался газовый хроматограф «Кристаллюкс-4000М» (НПФ «Мета-хром», Россия), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и двумя детекторами по теплопроводности. Минимальный объем вводимой в прибор газовой фазы составлял 5 мл. Точность качественного и количественного анализа метана и других углеводородов пламенно-ионизационного детектора – 10^{-6} %. Неорганические газы (азот, кислород, углекислый газ), а также метан с концентрацией более 1 % анализировались на детекторе по теплопроводности с чувствительностью 0,01 %. Проведено 22 газохроматографических определения содержания метана в морской воде, расчет концентраций производился по методике [11] в модификации [12]. Данные измерений интегрировались непосредственно в массив цифровых гидрологических и метеорологических данных в ходе наблюдений.

Расчет потоков метана с поверхности моря (рис. 1)

Вычисления были проведены для каждой точки отбора проб, используя экспериментальные данные о концентрации растворенного метана в поверхностном слое морской воды, содержаниях метана в приземном слое атмосферы, температуре, солености и реальных скоростях ветра на момент отбора проб.

Расчет потоков метана (F) соответствовал методологии, описанной в работах [5, 8, 10]:

$$F = \Delta C \times K,$$

где: $\Delta C = (C_{\text{изм}} - C_{\text{равн}})$ – разность концентраций метана, рассчитывается как разность между измеренной концентрацией метана в морской воде и равновесной концентрацией, которую имел бы атмосферный метан в морской воде при данной температуре, солености и при атмосферном давлении; K – коэффициент газообмена на границе вода–воздух.

Содержание ртути в атмосферном воздухе

Для определения этого параметра в экспедиционных условиях использовали анализатор РА-915М+ (Льюмэкс, Россия), в основе работы которого – дифференциальный атомно-абсорбционный способ определения ртути, который реализуется с помощью зеемановской модуляционной поляризационной спектроскопии с высокочастотной модуляцией. В минимальной комплектации прибор позволяет определение содержаний ртути в воздухе с нижним пределом обнаружения 2 нг/м^3 , что соответствует фоновому содержанию ртути в воздухе районов с низкой степенью антропогенного загрязнения. Для увеличения точности до $0,3 \text{ нг/м}^3$ применяли компьютерную регистрацию результатов измерений в режиме «мониторинг». Это позволяло накапливать результаты первичных единичных измерений и обобщать их за длительный период. Обычно осреднение делалось для 5-минутных интервалов (250 измерений с интервалом 1 с). Измерения метеопараметров проводили с помощью метеоконкомплекса Davis Vantage Pro2 (США) на двух уровнях – 2 и 20 м от поверхности моря. Одновременно регистрировали скорость и направление движения судна и гидрометеорологические параметры (направление и скорость ветра, температуру воздуха, атмосферное давление, количество осадков). При проведении попутных измерений содержаний ртути в воздухе основное внимание уделяли оценке ее фоновых содержаний в различных морских бассейнах и степени антропогенного влияния на них за счет атмосферного переноса из районов антропогенной эмиссии Юго-Восточной Азии.

Содержание метана и углекислого газа в атмосферном воздухе

Сбор данных на участке от Владивостока до Корейского пролива проводился с 18:50 26.10.2019 по 00:00 29.10.2019 (UTC). На протяжении 1000 км маршрута за данный временной промежуток с помощью газоанализатора G14 было получено 638 5-минутных измерений.

Измерение концентраций CO_2 , CH_4 и паров воды в приводной атмосфере на профиле от г. Владивосток до Корейского пролива производилось с помощью газоанализатора Picarro G2311-f (Picarro, США). Поступление воздуха к прибору осуществлялось камерами забора, соединенными с ним воздухозаборными трубками. Камеры размещались на высоте 14 м над ур. м. Данный газоанализатор предназначен для измерения концентраций диоксида углерода, метана и паров воды при скорости передачи данных 10 Гц для каждого газа (общая скорость передачи 30 Гц), что позволяет делать до 2000 измерений в минуту с погрешностью 200 ppb для CO_2 , 3 ppb для CH_4 и 6 ppb + 0,3 % для водяного пара при небольшой подвижности прибора. Результаты обработаны в программе для статистической обработки Microsoft Excel при усреднении за 5-минутный промежуток времени и координатной привязке данных.

Флуоресценция хлорофилла-а

Для оперативной оценки концентрации хлорофилла-а использовали флуориметр 10-AU Turner Designs Incorporated, для определения гидрологической структуры вод – проточный термосолинограф Seabird SBE-45. Автоматическая система была подключена к штатной водозаборной системе, отбирающей воду на горизонте 4 м, что позволило проводить непрерывные измерения на строго определенной глубине. Всего в Японском море по маршруту зал. Петра Великого – Корейский (Цусимский) пролив сделано 17 555 измерений флуориметром, 17 411 – термосолинографом, составлены графики хода для каждого регистрируемого параметра. Полученные данные позволяют изучить пространственную структуру полей температуры, солёности и концентрации хлорофилла-а, провести сравнительный анализ [3].

Результаты и обсуждение

Геофизические исследования

Профиль через Японское море по данным гравиметрической съемки

В Японском море маршрут судна проходил в западной его части, от зал. Петра Великого на севере до Цусимского пролива на юге (рис. 1), гравиметрические наблюдения представлены на рис. 2.

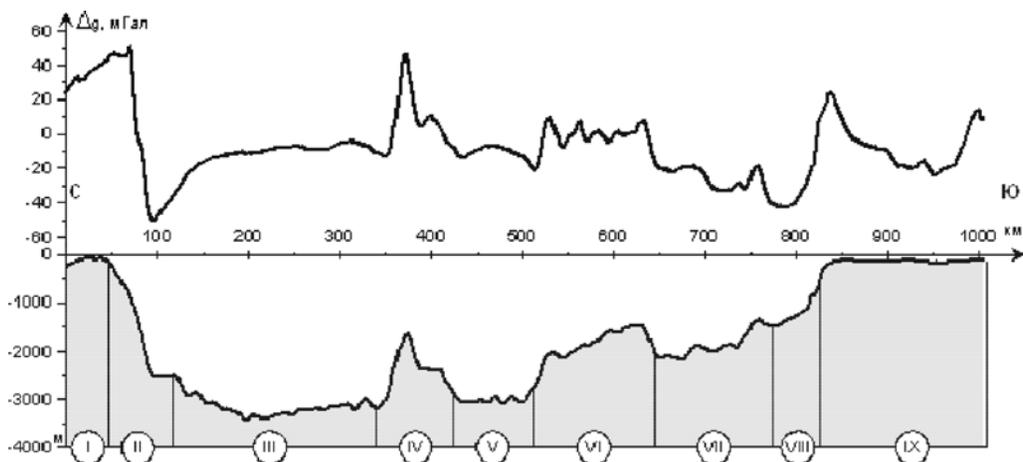


Рис. 2. Поле силы тяжести (вверху) и рельеф дна (внизу) вдоль маршрута движения НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс LV88 (октябрь 2019 г.) в Японском море. I – шельф зал. Петра Великого, II – континентальный склон Приморья, III – Центральная котловина, IV – Восточно-Корейская возвышенность, V – впадина Криштофовича, VI – возвышенность Криштофовича, VII – Цусимская котловина, VIII – континентальный склон Корейского полуострова, IX – шельф Цусимского пролива

В гравитационном поле отчетливо проявились все морфоструктуры, над которыми проходило судно. На шельфе зал. Петра Великого зафиксированы повышенные значения поля силы тяжести, достигающие на его внешней границе своего максимума. Континентальный склон отмечен градиентной зоной с максимальной амплитудой – от 50 мГал в пришельфовой области до -50 мГал у его подножья. Такой эффект обусловлен тем, что именно под континентальным склоном идет радикальное сокращение мощности земной коры [4], завершается переход от субконтинентальной коры шельфа к субокеанической коре Центральной котловины Японского моря. Ослабленная зона, расположенная у подножья склона, оканчивает рассмотренную выше трансформацию, образует в фундаменте депрессию, заполненную осадочными отложениями, а в гравитационном поле эта структура отмечена интенсивной отрицательной аномалией в зоне перехода склон–котловина.

Поле Центральной котловины спокойное, слабоотрицательное, по уровню сопоставимо с полем впадины Криштофовича, что может свидетельствовать о схожем строении этих морфоструктур. Расположенная между ними Восточно-Корейская возвышенность отмечена интенсивной положительной аномалией, сопоставимой по уровню с аномалией шельфа зал. Петра Великого, причем наличие двух максимумов – интенсивного северного и слабого южного – может свидетельствовать о развитии в ее фундаменте ослабленной зоны. Возвышенность Криштофовича, расположенная южнее, в гравитационном поле представлена серией знакопеременных аномалий, в то время как ее рельеф достаточно спокойный. Вероятно, возвышенность разбита на отдельные блоки различного вещественного состава или, более вероятно, различной степени разрушения. Уровень слабоотрицательного поля Цусимской котловины ниже, чем у Центральной котловины, но, скорее всего, это связано с тем, что маршрут судна проходит по периферии котловины, в области развития

ослабленных зон, одна из которых фиксируется в районе склона Цусимского бордерленда. Шельф Цусимского пролива представлен интенсивной положительной аномалией (по уровню ниже, чем на шельфе зал. Петра Великого), плавно переходящей в протяженную отрицательную аномалию, что может свидетельствовать о том, что на рассматриваемом участке консолидированный фундамент подходит близко к поверхности в северной части пролива, а далее на юг развиты обширные депрессии, заполненные осадочными образованиями.

Газогеохимические исследования

Распределение метана в поверхностном водном слое

На профиле зал. Петра Великого – Корейский пролив во время перехода НИС «Академик М.А. Лаврентьев» среднее значение концентрации метана в поверхностном 4-метровом водном слое составило 168 нл/л, минимальное – 143, максимальное – 207 нл/л.

Распределение концентрации метана, солености и температуры в приповерхностном слое воды по профилю представлено на рис. 3. Повышенные концентрации метана 164 нл/л, выявленные в рейсе LV88 на континентальном склоне Приморья, переходящем в Центральную котловину, совпадают с результатами прошлых экспедиций (226 нл/л, LV84, 2018 г.). Аномалия метана (191 нл/л, LV84) в верхних слоях воды над вулканической постройкой (Евланова) обнаружена впервые и требует дополнительных исследований.

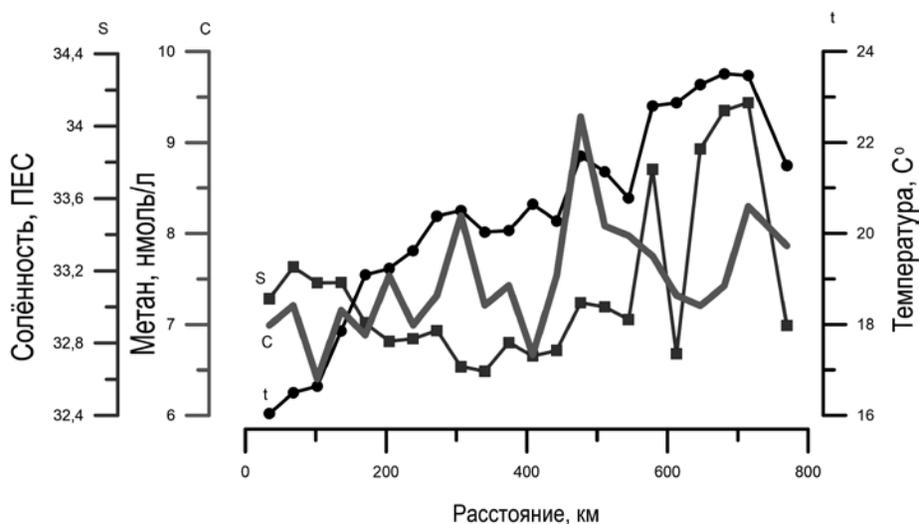


Рис. 3. Распределение концентраций метана, нмоль/л (C), температуры, °C (t) и солености, ПЕС (S) в поверхностном слое воды на профиле зал. Петра Великого – Цусимская котловина – Корейский пролив Японского моря, рейс LV88 (октябрь 2019 г.)

Минимальные значения концентраций метана наблюдаются на акватории Центральной котловины, устойчивой корреляции с температурой и соленостью в поверхностном слое воды не наблюдается. Участки с повышенными концентрациями метана в приповерхностном водном слое в рейсе LV88 выделяются в Цусимской котловине – 7,7 нмоль/л (бассейн Уллеунг) и на Прикорейском шельфе – 8,3 нмоль/л. В рейсе LV84 отмечены аномально высокие значения метана в приповерхностной воде Цусимской котловины – 9,9 нмоль/л. Известно, что в данном регионе были обнаружены газогидраты [7].

Полученные значения концентраций метана в воде в двух экспедициях (LV84 и LV88), проводимых в разные годы, имеют относительно высокое сходство, что, в свою очередь, указывает на предположительно незначительную изменчивость распределения метана в поверхностном слое акватории Японского моря в осенне-зимний сезон.

Распределение потока по профилю показано на рис. 1. На всей изучаемой акватории измеренные концентрации превышают равновесные с атмосферой значения, показатель пересыщения составил 161–315, в среднем 231 %, наблюдается эмиссия метана от 3 до 12, в среднем 5 моль/(км² сут). Максимальный поток – на акватории возвышенности Криштофовича.

Распределение ртути в поверхностном воздухе

Результаты измерений 27–29.10.2019 г. по маршруту перехода Владивосток – Корейский пролив показывают, что содержания ртути находятся в пределах регионального фона и составляют примерно 2 нг/м³. Этот фон был установлен нами в рейсе на НИС «Профессор Хромов» в 2004 г. Но в 2019 г. отмечено незначительное увеличение фонового значения, что, возможно, объясняется бóльшим количеством измерений, проведенных в южной части Японского моря. Помимо в основном низких содержаний, выделяются, эпизодически или в достаточно длительной серии измерений, повышенные – 2–4 нг/м³ – значения на отдельных участках в Японском море (район о-ва Уллындо). Причиной может быть то, что о-в Уллындо, как известно, вулканического происхождения, и, возможно, на дне присутствуют гидротермальные источники.

Распределение парниковых газов и паров H₂O в приземном слое атмосферы

Более высокие, чем в северной части профиля, концентрации метана и CO₂ в атмосфере (рис. 4) наблюдались на участке при входе в Корейский пролив, а также – метана – на акватории возвышенности Криштофовича. Последняя аномалия была зафиксирована впервые и требует дополнительных исследований. Количество значений CH₄ 1,99 ppm на данном участке составило 52 %.

Гидрооптические и гидрологические параметры морской воды в акватории Японского моря

Использованный нами флуориметр обладал тем недостатком, что интенсивность флуоресценции в нем регистрируется в одном спектральном канале – на одной длине волны, соответствующей максимуму линии флуоресценции хлорофилла-а. Это приводит к тому, что иногда спектры

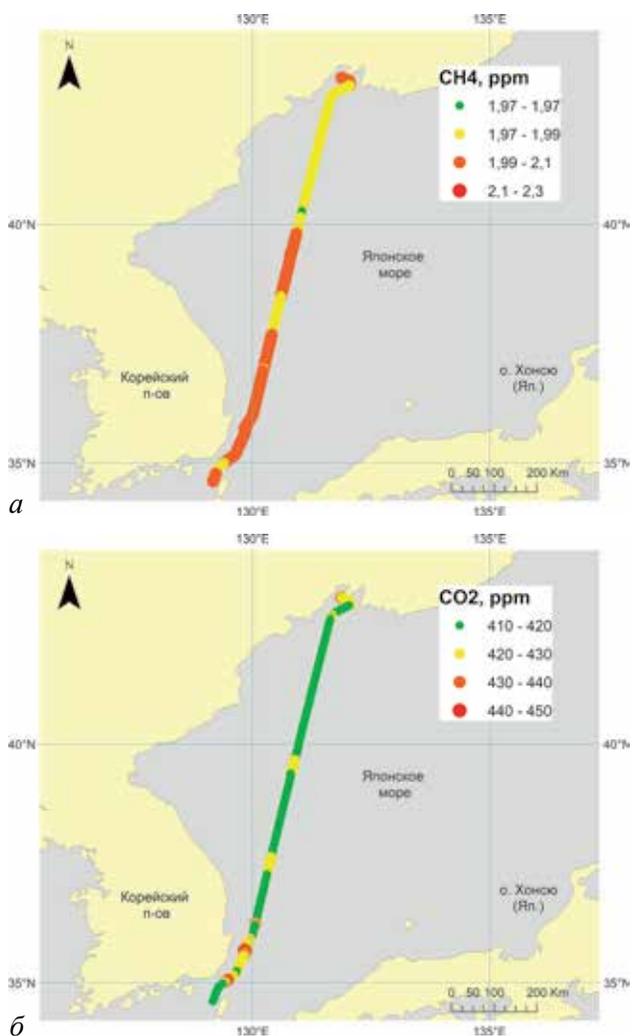


Рис. 4. Пространственная изменчивость концентраций CH₄ (а) и CO₂ (б) в атмосфере на участке от Владивостока до Корейского пролива (Японское море) по курсу следования НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс LV88 (октябрь 2019 г.)

испускания хлорофилла-а и растворенного органического вещества (РОВ) одновременно присутствуют в области регистрации флуоресценции. Помимо этого, на интенсивность флуоресценции хлорофилла-а влияет не только его концентрация, но также видовой состав и функциональное и физиологическое состояние фитопланктона [2]. В связи с этим для коррекции данных на протяжении всего рейса проводился регулярный отбор проб для определения концентрации хлорофилла-а стандартными спектрофотометрическими и флуориметрическими способами, а также делалась дополнительная оценка флуоресценции РОВ. При калибровке данных флуоресцентного метода учитывалась классификация районов с относительно одинаковыми гидробиологическими условиями [1], в том числе с привлечением измерений проточного термосолинографа и спутниковых данных по цвету моря и температуре поверхностного слоя [3].

Предварительно показано, что более низкие концентрации хлорофилла-а (рис. 5, а) приурочены к северной части Японского моря и имеется тенденция к их росту по направлению с севера на юг. Такое распределение может быть связано с начавшимся понижением температуры воды (рис. 5, б) и завершением осеннего цветения в северной части моря [6].

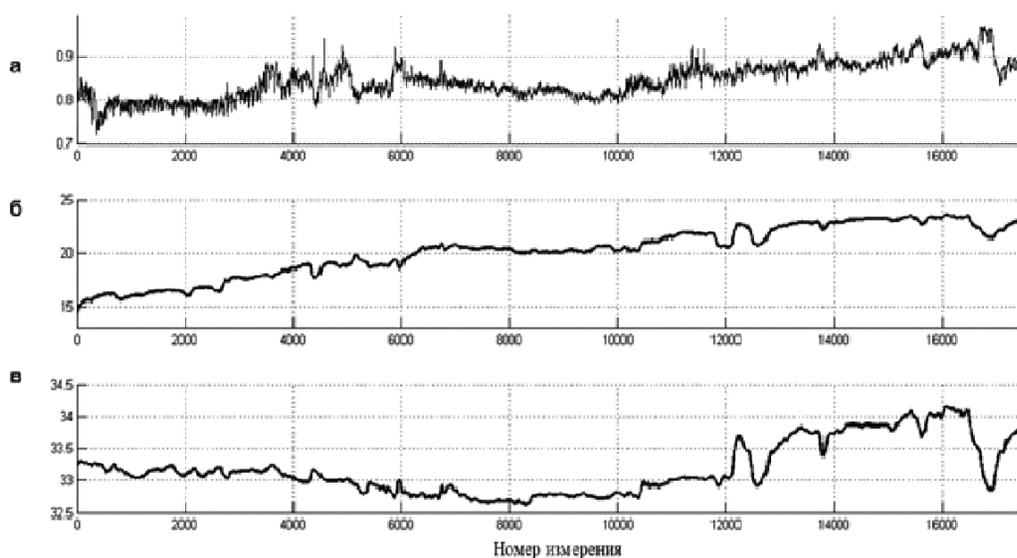


Рис. 5. График распределения интенсивности флуоресценции, мкг/л (а), температуры, °С (б) и солёности, ПЕС (в) по данным, полученным от проточной системы», рейс LV88 (октябрь 2019 г.)

В целом пространственно-временное распределение концентрации хлорофилла-а соответствует известному представлению о развитии фитопланктона в Японском море в период осеннего цветения [9]. Также по предварительным результатам выявлено, что в некоторых районах низкие значения этого параметра коррелируют с низкими значениями солёности (рис. 5, в), что может быть связано с гидрофизическими процессами и гидробиологическими особенностями регионов.

Выводы

1. По курсу следования НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в ходе рейса LV88 (октябрь 2019 г.) на профиле зал. Петра Великого – Цусимская котловина – Корейский пролив были получены данные о распределении метана, углекислого газа, содержания ртути в атмосфере и концентрациях метана в поверхностных слоях воды.

2. По результатам газогеохимических исследований в Японском море выявлены участки с аномальными концентрациями метана (8,3 нмоль/л), углекислого газа (2,3 ppm) в поверхностной воде, ртути (4 нг/м³) в атмосферном воздухе, а также с повышенной эмиссией метана с акваторий Прикорейского шельфа, Цусимской котловины, Корейского пролива (в последнем районе зафиксировано впервые). Повышенными содержаниями ртути в атмосфере выделяется о-в Уллындо.

3. По результатам геофизических исследований была дана характеристика гравитационного поля в Японском море на всем пути следования.

4. По результатам гидрооптических и гидрологических исследований было установлено, что в основном пространственно-временное распределение концентрации хлорофилла-а соответствует известным данным о развитии фитопланктона в Японском море в осенний сезон. Также было выявлено, что в некоторых районах низкие концентрации хлорофилла-а соответствуют низким значениям солености, что, вероятнее всего, обусловлено гидрофизическими процессами и гидробиологическими особенностями этих районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захарков С.П., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н. и др. Возможность использования данных зонда SBE для калибровки спутниковых данных концентрации хлорофилла *a* в Японском море // Изв. ТИНРО. 2014. Т. 177. С. 209–218. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-209-218.
2. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Ши С. Определение концентрации хлорофилла «а» в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 482–490. DOI: 10.7868/S0030157416020210.
3. Клещёва Т.И., Пермяков М.С., Салюк П.А., Голик И.А. Пространственные спектры полей температуры поверхности моря и концентрации хлорофилла «а» в окраинных морях северо-западной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 5. С. 209–220.
4. Кулинич Р.Г., Валитов М.Г. Мощность и типы земной коры Японского моря по данным морской и спутниковой гравиметрии // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 6. С. 3–13.
5. Мишукова Г.И., Обжиров А.И., Мишуков В.Ф. Метан в пресных и морских водах и его потоки на границе вода–атмосфера в Дальневосточном регионе. Владивосток: Дальнаука, 2007. 159 с.
6. Моря СССР / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
7. Byong-Jae Ryu, Riedel M. Gas hydrates in the Ulleung Basin, East Sea of Korea // Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2017. Vol. 28, N 6. P. 943–963. DOI: 10.3319/TAO.2017.10.21.01.
8. Mischoukov V., Mishukova G. White caps and bubble mechanisms of gas exchange between ocean and atmosphere // Proc. 2nd Intern. Symp. «CO₂ in the Oceans» / ed. Y. Nojiri. Tsukuba: Centre for Global Environmental Research, 1999. P. 517–520.
9. Sang-Woo Kim, Sei-Ichi Saiton, Joji Ishizaka et al. Temporal and spatial variability of phytoplankton pigment concentrations in the Japan Sea derived from CZCS images // J. Oceanogr. 2000. Vol. 56. P. 527–538.
10. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan // Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. 2013. Vol. 86–87. P. 25–33.
11. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubility of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and sea water // J. Chem. Eng. Data. 1979. Vol. 24, N 4. P. 356–360. DOI: 10.1021/je60083a006.
12. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and sea water // J. Chem. Eng. Data. 1976. Vol. 21, N 1. P. 78–80.

М.Н. БЕЗРУК, Р.В. РОМАШКО, Ю.Н. КУЛЬЧИН

Детектирование слабых акустических полей с помощью волоконно-оптической измерительной системы для задач неразрушающей диагностики

Продемонстрирована возможность применения волоконно-оптической системы на основе многоканального адаптивного голографического интерферометра для задач неразрушающей диагностики. С помощью системы выполнены детектирование и реконструкция слабого акустического поля, сформированного внутри плиты из конструкционного материала, имеющей неоднородную структуру. На основе результатов томографической реконструкции акустического поля показано влияние неоднородности на суперпозицию акустического поля.

Ключевые слова: адаптивный интерферометр, волоконный световод, динамическая голограмма, акустическое поле.

Detecting weak acoustic fields using optical-fiber system for purposes of nondestructive diagnostics.
M.N. BEZRUK, R.V. ROMASHKO, Yu.N. KULCHIN (Institute for Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok).

In this paper, the possibility of using fiber-optical system based on a multi-channel adaptive holographic interferometer in the problem of non-destructive diagnostics is demonstrated. The detection and reconstruction of a weak acoustic field formed inside the plate from a structural material having a structure defect has been performed. Based on the results of tomographic reconstruction of the acoustic field, the effect of structure defect on the superposition of the acoustic field inside plate is shown.

Key words: adaptive interferometer, calibration, optical fiber, dynamic hologram, acoustic field.

Непрерывно растущие требования технической безопасности, предъявляемые к инженерным сооружениям и техническим конструкциям, обуславливают востребованность систем неразрушающего контроля [2, 8]. Решение таких задач связано с необходимостью измерения большого количества физических параметров и полей (акустическая эмиссия, динамические деформации, вибрации и пр.), которые зачастую довольно слабы и распределены по объекту исследования [6]. Такие измерения обычно выполняются с использованием большого количества дискретных датчиков. Однако количество датчиков значительно увеличивается, если необходимо контролировать пространственно вытянутый объект или одновременно измерять большое количество различных параметров. Это усложняет как саму систему измерений, так и процедуру измерения.

*БЕЗРУК Михаил Николаевич – младший научный сотрудник, РОМАШКО Роман Владимирович – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, директор, КУЛЬЧИН Юрий Николаевич – академик РАН, профессор, научный руководитель (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: bezmisha@list.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 18-32-00476 мол_а.

Использование волоконно-оптических датчиков позволяет комплексно решить такие задачи. Оптические волокна, обладая малым весом, невосприимчивостью к электромагнитным помехам и коррозии, высокой способностью к мультиплексированию, по своей природе имеют интегральную чувствительность, что позволяет создавать на их основе измерительные системы томографического типа. Это делает возможным не только обнаружение, но и реконструкцию пространственного распределения физических полей [1, 3, 9]. При этом одним из эффективных инструментов для решения таких задач может быть волоконно-оптическая измерительная система на основе адаптивного голографического интерферометра [11]. В таком интерферометре световые пучки объединяются с помощью динамической голограммы, формируемой в фоторефрактивном кристалле. Голограмма, перезаписываясь, стабилизирует рабочую точку интерферометра, сохраняя его работоспособность в реальных условиях на фоне внешних шумовых факторов.

Как показано в работах [5, 7, 10], динамические голограммы могут эффективно мультиплексироваться в одном кристалле, что позволяет создавать на основе адаптивного интерферометра измерительные системы с большим числом каналов. В работе [4] реализован многоканальный адаптивный интерферометр, который был успешно применен в задаче детектирования слабого вибрационного поля. В настоящей работе исследована возможность применения волоконно-оптической измерительной системы на основе многоканального адаптивного интерферометра для регистрации слабых акустических полей в конструкционном материале, имеющем неоднородность структуры.

На рис. 1 представлена схема волоконно-оптической измерительной системы. Чувствительным элементом измерительной системы является волоконно-оптическая томографическая сеть, состоящая из 30 световодов, которые располагаются на объекте измерения согласно томографическому принципу – в двух перпендикулярных направлениях [4]. Применение томографического подхода позволяет уменьшить количество измерительных элементов по сравнению с точечными датчиками [1, 3]. Воздействие объекта измерения на световоды приводит к модуляции фазы проходящего в них лазерного излучения. Излучение из световодов направляется в 30-канальный адаптивный голографический

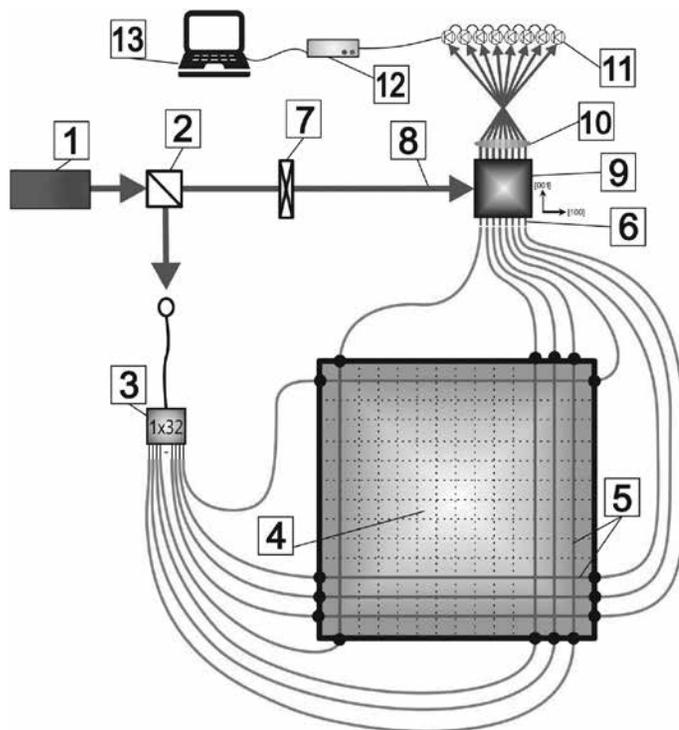


Рис. 1. Схема волоконно-оптической измерительной системы. 1 – Nd:YAG лазер; 2 – светоделительный куб; 3 – многомодовый волоконно-оптический разветвитель; 4 – плата; 5 – волоконно-оптические сенсоры, уложенные в двух ортогональных направлениях; 6 – объектные световые пучки; 7 – четвертьволновая фазовая пластинка; 8 – опорный пучок; 9 – фоторефрактивный кристалл CdTe; 10 – фокусирующая линза; 11 – фотодетекторы; 12 – АЦП; 13 – компьютер

интерферометр на основе фоторефрактивного кристалла, формируя 30 измерительных каналов. Фазовая демодуляция осуществляется за счет дифракции волн на динамических голограммах. Модуляция интенсивности каждого канала регистрируется фотоприемником. Полученные сигналы каждого канала записываются на компьютер посредством АЦП. Томографическая реконструкция полученных экспериментальных данных осуществляется с применением обратного преобразования Радона [1, 3].

С помощью волоконно-оптической измерительной системы выполнены регистрация и реконструкция слабого акустического поля, сформированного в конструкционном объекте. В качестве такого объекта использована плита из экструдированного пенополистирола XPS размером $390 \times 390 \times 50$ мм (рис. 2).

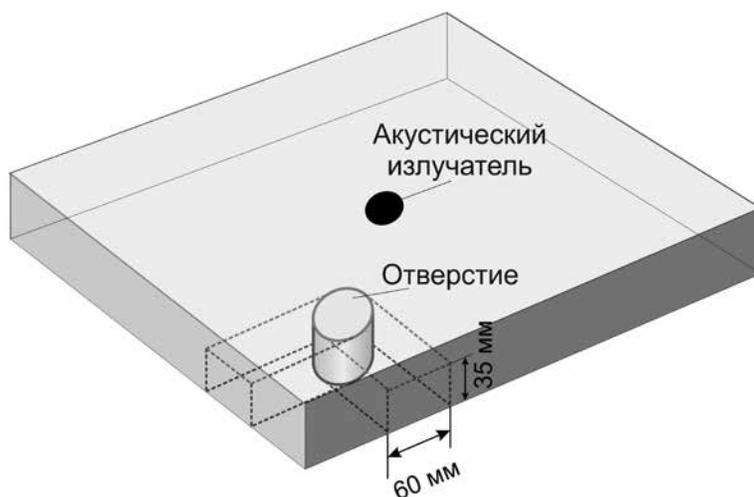


Рис. 2. Схема расположения на плите излучателя и отверстия

Для создания акустического поля в плите использован акустический излучатель, расположенный в центре плиты на верхней стороне. Излучатель возбуждает распространяющуюся внутри плиты акустическую волну, которая, отражаясь от стенок, интерферирует и тем самым образует суперпозицию звукового поля внутри плиты. На излучатель подавалось синусоидальное напряжение с амплитудой 1 В на частоте 1,4 кГц, при этом величина акустического давления вблизи излучателя составляла 5 мПа. Томографическое сканирование акустического поля осуществлялось с использованием волоконно-оптической сети, уложенной на плите в двух ортогональных направлениях. Следует отметить, что на частоте акустических колебаний 1,4 кГц с учетом скорости звука в данном материале (620 м/с) длина акустической волны составляет 44 см. При этом расстояние между пучностями составит 22 см. В этом случае, принимая во внимание площадь плиты (390×390 мм), для более детального сканирования акустического поля на такой частоте было решено увеличить пространственное разрешение сенсорной сети. Все 30 волоконных световодов задействованы для томографического сканирования в одном направлении, при этом пространственное разрешение сенсорной волоконно-оптической сети составило $1,3 \text{ см}^{-1}$. В результате процедура томографического сканирования акустического поля состояла из двух последовательных сканирований: сначала в продольном направлении, после чего все волоконные световоды укладывались на плите поперек, затем выполнялся второй этап сканирования – в поперечном направлении. Для того чтобы объединить данные, полученные при сканировании в обоих направлениях, необходимо их синхронизировать, поэтому все измерения были привязаны по времени к модуляционному сигналу. С помощью данной методики выполнена томографическая регистрация акустического поля в плите. Затем плита была модифицирована путем создания в ней конструкционного дефекта в виде

несквозного отверстия диаметром 60 мм и глубиной 35 мм, расположенного с нижней стороны плиты, как схематично показано на рис. 2. В модифицированной плите также была выполнена томографическая регистрация акустического поля.

На рис. 3, *а*, *б* представлены результаты томографической реконструкции пространственного распределения амплитуды акустического поля в исходной, а также в модифицированной плите. Как видно из рис. 3, *а*, в случае, когда плита имела однородную структуру, суперпозиция акустического поля представляет собой практически симметричную картину, на которой пучности, примерно одинаковые по своему размеру, располагаются на плите в шахматном порядке. В тоже время, когда в плите появляется конструкционный дефект (рис. 3, *б*), внутри плиты возникает перераспределение суперпозиции акустического поля и около отверстия наблюдается увеличение амплитуды поля.

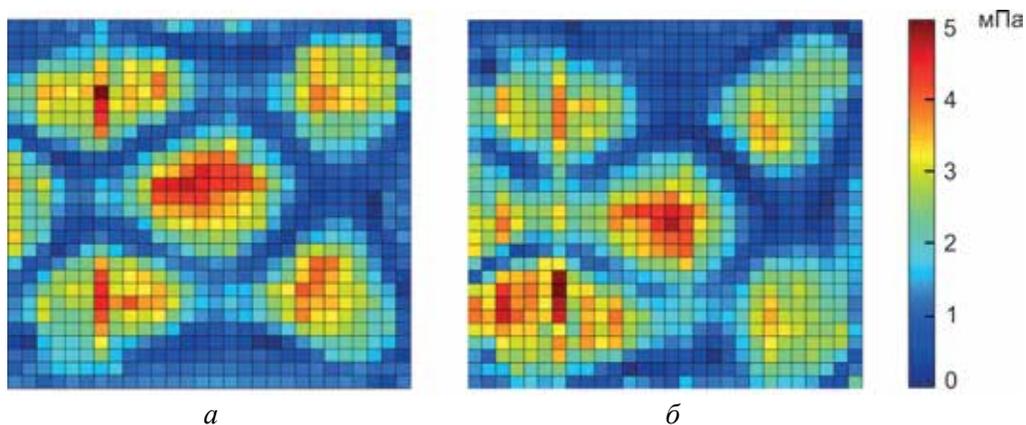


Рис. 3. Результат томографической реконструкции амплитуды акустического поля, сформированного в плите исходной (*а*) и модифицированной, с отверстием (*б*)

Для более наглядного отображения изменения суперпозиции акустического поля на рис. 4 представлена разностная картина пространственного распределения амплитуды акустического поля внутри плиты, представляющая собой разность между пространственным распределением амплитуды поля в исходной плите и пространственным распределением амплитуды поля в модифицированной плите. Значение в каждой точке определяет степень различия амплитуд для результатов, представленных на рис. 3, *а* и *б*.

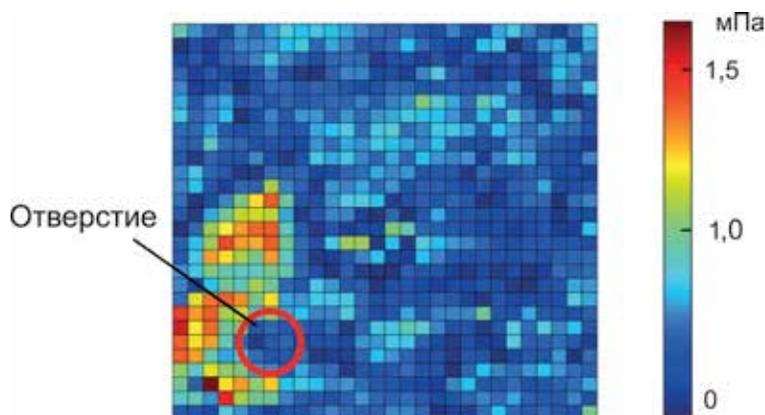


Рис. 4. Пространственное распределение разности амплитуд акустического поля внутри плиты с отверстием и без него

Как видно из рис. 4, максимальное различие наблюдается как раз в области, где располагается отверстие. Таким образом, разработанная волоконно-оптическая измерительная система на основе многоканального адаптивного интерферометра позволяет эффективно решать задачи, связанные с регистрацией и восстановлением пространственного распределения параметров слабых физических полей (например, задачи акустико-эмиссионного неразрушающего контроля). Это дает возможность в условиях промышленных шумов осуществлять мониторинг состояния конструкционных материалов, выявляя в них возможные скрытые дефекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиневский С.П., Котов О.И., Николаев В.М., Петрунькин В.Ю. Применение методов реконструктивной вычислительной томографии в волоконно-оптических датчиках // Квант. электроника. 1995. Т. 22, № 10. С. 1013–1018.
2. Калашников В.И., Нефедов С.В., Путилин А.Б., Раннев Г.Г. Информационно-измерительная техника и технологии. М.: Высш. школа, 2002. 454 с.
3. Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б., Ромашко Р.В., Петров Ю.С., Кириченко О.В., Каменев О.Т. Томографические методы исследования векторных полей с применением оптоволоконных измерительных систем // Квант. электроника. 1997. Т. 24, № 5. С. 467–470.
4. Ромашко Р.В., Безрук М.Н., Кульчин Ю.Н. Детектирование и реконструкция пространственного распределения слабых поперечных колебаний поверхности с помощью многоканального адаптивного волоконно-оптического интерферометра // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 6 (178). С. 140–143.
5. Ромашко Р.В., Безрук М.Н., Камшилин А.А., Кульчин Ю.Н. Шестиканальный адаптивный волоконно-оптический интерферометр // Квант. электроника. 2012. Т. 42, № 6. С. 551–556.
6. Fiber optic smart structures / ed. E. Udd. N.Y.: Wiley-Interscience, 1995. Vol. 12.
7. Fomitchov P., Murray T.W., Krishnaswamy S. Intrinsic fiber-optic ultrasonic sensor array using multiplexed two-wave mixing interferometry // Appl. optics. 2002. Vol. 41, N 7. P. 1262–1266.
8. Glišić B., Inaudi D. Fibre optic methods for structural health monitoring. John Wiley & Sons, 2008. 276 p.
9. Guo H., Xiao G., Mrad N., Yao J. Fiber optic sensors for structural health monitoring of air platforms // Sensors. 2011. Vol. 11, N 4. P. 3687–3705.
10. Romashko R.V., Kulchin Y.N., Kamshilin A.A. A multichannel adaptive interferometry system // J. Rus. Laser Res. 2010. Vol. 31, N 1. P. 55–60.
11. Stepanov S.I. Adaptive interferometry: a new area of applications of photorefractive crystals // International Trends in Optics / ed. J. Goodman. N.Y.; London: Acad. Press, 1991. Ch. 9. P. 125–140.

С.В. ГНЕДЕНКОВ, Д.П. ОПРА, В.Г. КУРЯВЫЙ, С.Л. СИНЕБРЮХОВ,
А.А. СОКОЛОВ, А.И. НЕУМОИН, А.Н. МИНАЕВ, В.И. СЕРГИЕНКО

Анодные материалы на основе сульфата и оксисульфата свинца для литий-ионных аккумуляторов

Объектом исследования являлся наноструктурированный композит на основе свинца, состоящий из смеси фаз $PbSO_4$ и $Pb_2O(SO_4)$. Цель работы состояла в реализации синтеза наноструктурированного материала на основе серосодержащих соединений свинца методом импульсного высоковольтного разряда. Набором взаимодополняющих физико-химических методов изучены морфологические особенности, состав и структура синтезированного материала. Обнаружено, что композит состоит из наночастиц размером 20 нм, образующих субмикронные и наноразмерные агломераты. При использовании композита в качестве анода литий-ионных аккумуляторов установлено, что электрохимический механизм взаимодействия данных фаз с литием включает как необратимые процессы распада $PbSO_4$ и $Pb_2O(SO_4)$, так и обратимые реакции формирования интерметаллидов Li_xPb . В ходе гальваностатического циклирования в диапазоне потенциалов 1,5–0,005 В при токовой нагрузке 150 мкА/см² композит показал емкость на уровне 390 мА·ч/г, что соответствует составу $Li_{2,96}Pb$. Дальнейшее циклирование материала продемонстрировало заметную деградацию емкости. Уже на пятом цикле ее значение составило 190 мА·ч/г.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, анод, наноматериал, интерметаллид, сульфат, оксисульфат, электрохимическое поведение.

Lead sulfate and oxysulfate as a base for anode materials of lithium-ion batteries. S.V. GNEDENKOV¹, D.P. OPRA¹, V.G. KURYAVYI¹, S.L. SINEBRYUKHOV¹, A.A. SOKOLOV¹, A.I. NEUMOIN¹, A.N. MINAEV^{1,2}, V.I. SERGIENKO¹ (¹Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, ²Far East Federal University, Vladivostok).

The object of the study was the lead-based nanostructured composite consisted of mixture of $PbSO_4$ and $Pb_2O(SO_4)$ phases. The aim of the work was to realize the synthesis of a nanostructured material based on sulfur-containing lead compounds by the method of pulsed high-voltage discharge. Morphology features, composition, and structure of materials were characterized by a number of complimentary physicochemical scientific methods. It was found that the composite consists of nanoparticles with a size of 20 nm agglomerated to submicron and nanosized spheres. The electrochemical mechanism of interactions between these phases and lithium involves both irreversible decomposition of $PbSO_4$ and $Pb_2O(SO_4)$ and reversible alloying/dealloying reactions through Li_xPb intermetallic compounds. During the galvanostatic cycling in a potential range of 1.5–0.005 V and current load of 150 $\mu A/cm^2$, the composite showed

ГНЕДЕНКОВ Сергей Васильевич – член-корреспондент РАН, директор, ОПРА Денис Павлович – кандидат химических наук, заведующий лабораторией, КУРЯВЫЙ Валерий Георгиевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, СИНЕБРЮХОВ Сергей Леонидович – доктор химических наук, заместитель директора, *СОКОЛОВ Александр Александрович – младший научный сотрудник, НЕУМОИН Антон Иванович – младший научный сотрудник, СЕРГИЕНКО Валентин Иванович – академик, вице-президент РАН, заведующий отделом (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), МИНАЕВ Александр Николаевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор (Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: alexsokol90@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» (грант № 18-3-006). Данные рентгенофазового анализа получены на оборудовании ЦКП «ДВЦСИ» (Институт химии ДВО РАН) в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № 0265-2019-0003).

a reversible capacity of 391 mA·h/g corresponding to $\text{Li}_{2,96}\text{Pb}$. Subsequent cycling of material demonstrated an appreciable degradation of the capacity. During the fifth cycle this parameter equaled to 190 mA·h/g.

Key words: lithium-ion battery, anode, nanomaterial, intermetallic compound, sulfate, oxysulfate, electrochemical behavior.

Введение

Создание новых и усовершенствование существующих систем литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) в значительной мере определяется необходимостью поиска материалов для электродов с улучшенными и оптимальными характеристиками, надежностью и продолжительностью функционирования. При этом одной из ключевых является задача разработки для ЛИА анодного материала, обладающего высокими показателями энергозапаса. На роль таких активных веществ отрицательного электрода в последнее время претендуют материалы, в состав которых входят элементы, способные образовывать с литием интерметаллические фазы, принимая несколько ионов лития на формульную единицу, а именно: Bi [2], Sn [13], Zn [7], Ge [12], Si [4]. Например, олово с литием формирует интерметаллическое соединение $\text{Li}_{4,4}\text{Sn}$, которое обеспечивает значение емкости на уровне 992 мА·ч/г [15]. Главным недостатком подобного рода материалов является существенное изменение удельного объема при литировании/делитировании (250–300 % [14]), приводящее к быстрой деградации емкости электрода. Свинец также способен к образованию интерметаллидов с литием. При этом изменение объема для соединения свинца с литием составляет 140 % [9]. Вместе с тем емкость при образовании интерметаллического соединения $\text{Li}_{4,4}\text{Pb}$ равна 582 мА·ч/г [9], что в полтора раза превышает значение данного параметра для углеродного анода (372 мА·ч/г [8]).

Важная роль в снижении объемных деформаций отводится уменьшению размера частиц материала электрода, усреднению их по гранулометрическому составу, для чего разрабатываются новые способы синтеза. Так, в работе [6] показано, что обратимая емкость электродов на основе микрочастиц PbO_2 в два раза выше по сравнению с субмикронным свинцом. В исследовании [3] впервые описана четкая взаимосвязь между переходом к наноразмерным компонентам и электрохимической работоспособностью PbO в ЛИА. Авторами статьи [11] была установлена перспективность замены оксидных фаз на фторид свинца с точки зрения улучшения мощностных характеристик аккумулятора. Недавно было обнаружено [16], что применение серосодержащих соединений свинца по сравнению с оксидными и фторидными формами является более эффективным с точки зрения улучшения циклируемости электрода.

В рамках данной работы реализован синтез наноструктурированного материала на основе серосодержащих соединений свинца методом импульсного высоковольтного разряда, который сочетает простоту приборного оформления и экономичность с удобством масштабирования. Электрохимические характеристики материала изучены в ячейках литий-ионных аккумуляторов.

Методики и материалы эксперимента

Наноструктурированный материал был получен в плазме импульсного высоковольтного разряда. Режим работы генератора в процессе синтеза: амплитуда импульсов 9 кВ, частота следования импульсов 2 кГц, длительность 100 мкс.

Изучение морфологических особенностей и элементного состава проводили на микроскопе S5500 фирмы Hitachi с приставкой для рентгеновского микроанализа INCA производства Oxford Instruments. Перед исследованием материал полученных образцов наносили на токопроводящий углеродный слой. Качественный фазовый состав оценивали на порошковом дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker в монохроматизированном CuK_α

излучении. Для расшифровки полученных результатов использовали базу эталонных данных PDF-2 (2006 г.).

Электродную массу готовили посредством смешения в *N*-метилпирролидоне активного материала (80 масс.%), поливинилиденфторида (10 масс.%) и сажи Super P (10 масс.%). Полученную смесь наносили равномерным слоем толщиной 50 мкм на токосъемник из медной фольги. Полученную электродную пластину сушили при 60 °С до достижения постоянного веса. Затем производили вырубку электродных дисков диаметром 1,5 см и их подпрессовку при 1000 кг/см². Финальную сушку электродов осуществляли в вакуумной печи при 120 °С в течение 12 ч. Ячейки изготавливали в перчаточном боксе в атмосфере аргона (99,999 %). Металлический литий использовали в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения. Электролитом служил 1 М раствор LiPF₆ в смеси этиленкарбоната и диметилкарбоната в объемном соотношении 1:1 производства фирмы Merck. Электрохимические испытания проводили с помощью системы Solartron 1400 в диапазоне потенциалов 1,5–0,005 В. Заряд/разряд осуществляли при плотности тока 150 мкА/см². Циклические вольтамперограммы регистрировали при скорости развертки потенциала 100 мкВ/с.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 схематически представлен процесс синтеза. При включении генератора (1) между медным (2) и титановым (3) электродами возникает плазменный шнур. При этом происходит разложение находящегося в реакционной зоне прекурсора PbS (4). Образующаяся в результате термической реакции парогазовая фаза осаждается на подложке из политетрафторэтилена (5). По окончании процесса полученные порошкообразные продукты отделяются от подложки и используются в качестве образцов для дальнейшего исследования.

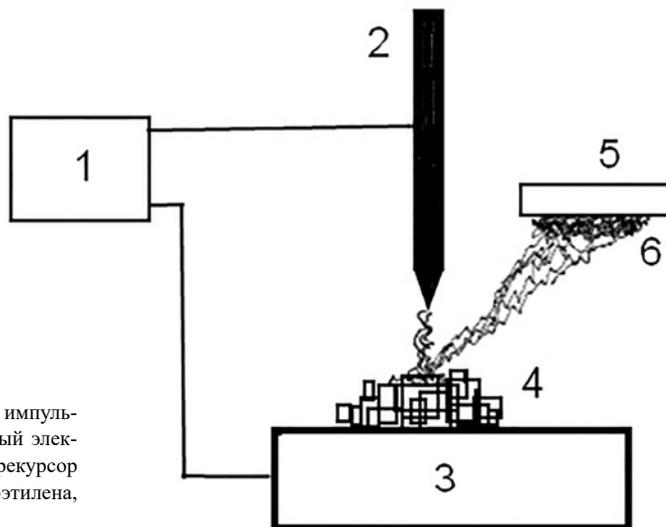


Рис. 1. Схема синтеза: 1 – генератор импульсов высокого напряжения, 2 – медный электрод, 3 – титановый электрод, 4 – прекурсор PbS, 5 – подложка из политетрафторэтилена, 6 – продукты реакции

По результатам электронно-микроскопического исследования, полученный образец состоит из субмикронных и наноразмерных образований диаметром от 50 до 600 нм, имеющих близкую к сферической форму (рис. 2, а). Установлено, что эти объекты обладают развитой поверхностью и образованы из частиц меньшего размера – около 20 нм (рис. 2, б). Микрондовый анализ показал присутствие (в масс.%) свинца (72,3), серы (10,6), кислорода (12,9) и углерода (4,2) в материале образца. При этом наличие последнего элемента обусловлено токопроводящим слоем, закрепляющим образец. На рентгеновской

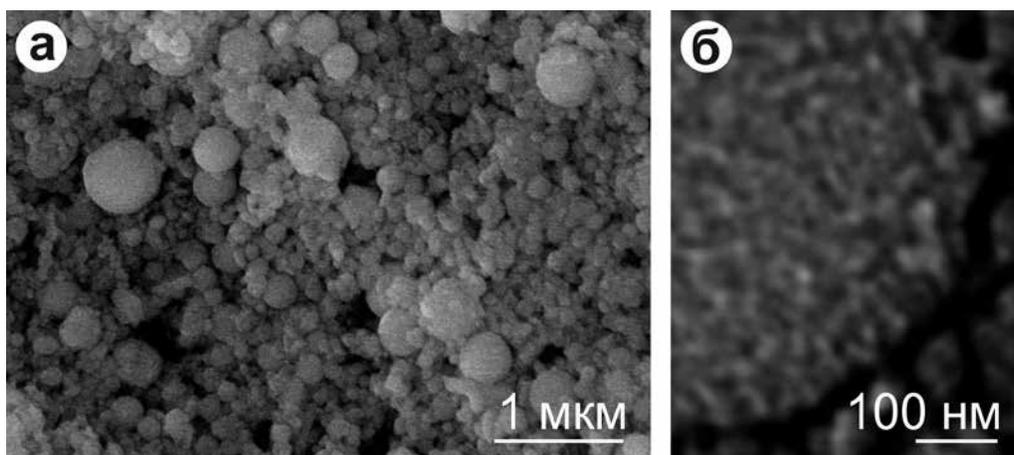


Рис. 2. Изображения поверхности материала, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа

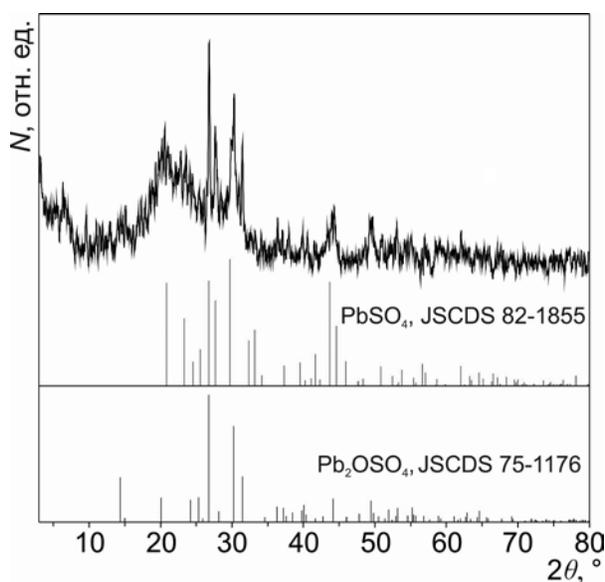
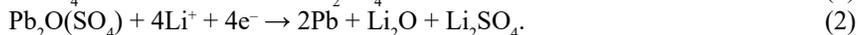


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма композитного материала, полученного методом импульсного высоковольтного разряда (N – интенсивность, θ – брегговский угол)

дифрактограмме материала (рис. 3) присутствуют линии англезита PbSO_4 (JCPDS 82-1855, ромбической фазы, пространственная группа $Pnma$) и ланаркита $\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ (JCPDS 75-1176, моноклинной фазы, пространственная группа $C2/m$).

На рис. 4 приведены циклические вольтамперограммы с первого по пятый цикл для электрода на основе сульфата и окисульфата свинца. При этом присутствие необратимого максимума около 1,49 В на кривой первого цикла ассоциируется, согласно [1, 5, 10], с восстановлением PbSO_4 и $\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ и образованием Pb , Li_2O и Li_2SO_4 (уравнения 1–2). Помимо этого как для начального, так и для последующих циклов характерно наличие катодных пи-

ков вблизи 0,47 и 0,21 В, обусловленных формированием интерметаллических соединений свинца с литием (уравнение 3) [7]. Анодные пики при 0,59 и 0,68 отражают процессы делитирования и распада интерметаллидов, демонстрируя обратимый характер такого взаимодействия.



Зарядно-разрядные кривые, полученные на электроде из $\text{PbSO}_4/\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ в условиях токовой нагрузки 150 мкА/см² и при циклировании на глубину до 0,005 В, приведены на рис. 5. Полученные данные хорошо согласуются с результатами циклической вольтамперометрии. Плато при потенциале около 1,67 В в первом катодном полуцикле характеризует протекание необратимых реакций (уравнения 1, 2), тогда как участок в области потенциалов ниже 0,52 В отражает процесс образования интерметаллидов лития со свинцом

(уравнение 3). Серия перегибов в диапазоне напряжений 0,26–0,65 В на разрядной кривой первого цикла отвечает распаду интерметаллических соединений. Удельная емкость электрода из $\text{PbSO}_4/\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$, полученная в ходе первоначального литирования, составила 640 $\text{mA}\cdot\text{ч}/\text{г}$, в то время как соответствующий процесс делитирования обеспечил около 390 $\text{mA}\cdot\text{ч}/\text{г}$. Значительные потери емкости в ходе первого цикла характерны для такого типа материалов, они объясняются необратимостью процессов распада соединений свинца. Кроме того, не исключен вклад от восстановления электролита (при потенциалах ниже 1,2 В), сопровождающегося формированием пассивирующей твердоэлектролитной пленки на поверхности электрода. В ходе последующего циклирования тестируемого электрода продолжается деградация емкости. Так, по результатам пятого цикла обратимая емкость электрода из $\text{PbSO}_4/\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ составила приблизительно 190 $\text{mA}\cdot\text{ч}/\text{г}$. Следует отметить, что внешний вид второй и последующих кривых заряда отличается от первоначальной, что связано с необратимым разложением PbSO_4 и $\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$.

Таким образом, несмотря на то что размер частиц синтезированного материала находится в нанометровом диапазоне, достаточно высокие начальные емкостные характеристики данного материала при циклировании снижаются. Следовательно, необходимо дальнейшее совершенствование метода синтеза. Одним из перспективных решений может быть введение в реакцию зону синтеза политетрафторэтилена, что обеспечит получение структур типа «ядро/оболочка» или «матричный композит», в которых роль оболочки/матрицы выполняет углерод.

Выводы

В настоящей работе методом импульсного высоковольтного разряда синтезирован наноструктурированный композит, состоящий из смеси фаз PbSO_4 и $\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$. Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что материал состоит из наночастиц размером 20 нм, соединенных в субмикронные и наноразмерные агломераты.

Данные циклической вольтамперометрии показали, что композит способен обратимо взаимодействовать с литием через образование интерметаллидов с общей формулой

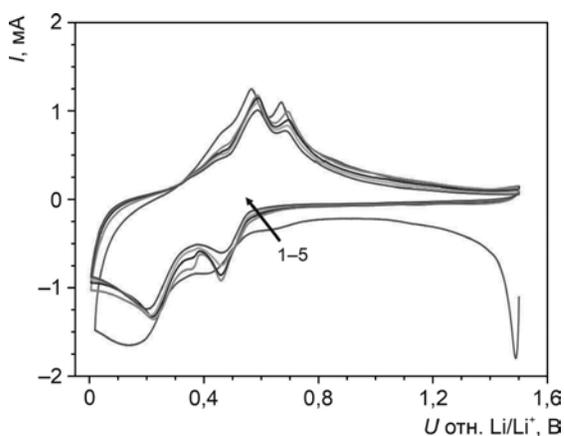


Рис. 4. Циклические вольтамперограммы с первого по пятый цикл электрода из сульфата и окисульфата свинца, зарегистрированные при скорости развертки 100 мкВ/с (J – плотность тока, U – потенциал электрода отн. Li^+/Li)

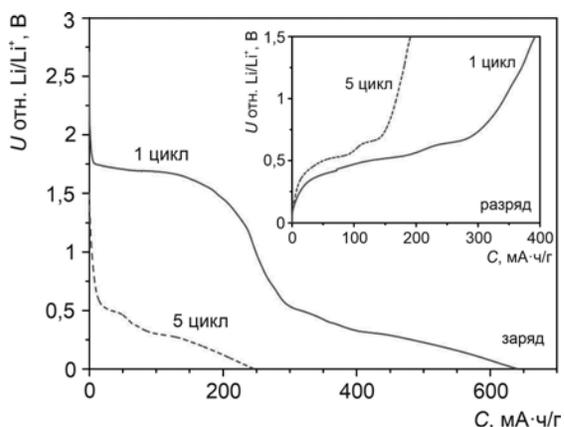


Рис. 5. Профили заряда/разряда первого и пятого циклов, полученные при плотности тока 150 mA/cm^2 для $\text{PbSO}_4/\text{Pb}_2\text{O}(\text{SO}_4)$ электрода (U – потенциал электрода отн. Li^+/Li , C – удельная емкость)

$\text{Li}_{1.96}\text{Pb}$. При тестировании в ячейках литий-ионных аккумуляторов при плотности тока 150 мкА/см^2 в диапазоне потенциалов $1,5\text{--}0,005 \text{ В}$ материал показал емкость $390 \text{ мА}\cdot\text{ч/г}$, что соответствует соединению $\text{Li}_{2,96}\text{Pb}$. Вместе с тем композит характеризуется низкой стабильностью при циклировании, что связано с разрушением материала в результате протекания необратимых реакций и объемными деформациями при литировании/дели-тировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Caiola A., Faudou J.Y., Guy H., Sohm J.C. Etude du couple $\text{CuSO}_4\text{-Li}$ en vue de la realisation d'un accumulateur // *Electrochim. acta*. 1972. Vol. 17. P. 421–440.
2. Chai W., Yin W., Wang K., Ye W., Tang B., Rui Y. Carbon-coated bismuth nanospheres derived from Bi-BTC as a promising anode material for lithium storage // *Electrochim. acta*. 2019. Vol. 325. Article ID 134927.
3. Konstantinov K., Ng S.H., Wang J.Z., Wang G.X., Wexler D., Liu H.K. Nanostructured PbO materials obtained in situ by spray solution technique for Li-ion batteries // *J. Power Sources*. 2006. Vol. 159. P. 241–244.
4. Lee S.-S., Nam K.-H., Jung H., Park C.-M. Si-based composite interconnected by multiple matrices for high-performance Li-ion battery anodes // *Chem. Eng. J.* 2020. Vol. 381. Article ID 122619.
5. Liu Y., Wen Z., Wu X., Wang X., Wu Y., Holze R. An acid-free rechargeable battery based on PbSO_4 and spinel LiMn_2O_4 // *Chem. Commun.* 2014. Vol. 50. P. 13714–13717.
6. Martos M., Morales J., Sánchez L. Lead-based systems as suitable anode materials for Li-ion batteries // *Electrochim. acta*. 2003. Vol. 48. P. 615–621.
7. Nguyen Q.H., Hung N.T., Park S.J., Kim T., Hur J. Enhanced performance of carbon-free intermetallic zinc titanium alloy ($\text{Zn-Zn}_x\text{Ti}_y$) anode for lithium-ion batteries // *Electrochim. acta*. 2019. Vol. 301. P. 229–239.
8. Nikolenko Yu.M., Opra D.P., Tsvetnikov A.K., Ustinov A.Yu., Kuryavyi V.G., Sokolov A.A., Ziatdinov A.M., Sinebryukhov S.L., Gnedenkov S.V. Activated hydrolytic lignin – a source of new functional materials // *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5. P. 26002–26009.
9. Opra D.P., Podgorbunsky A.B., Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Sokolov A.A., Telin I.A. Effect of $\text{Al}(\text{OH})_3$ in enhancing PbSnF_4 anode performances for rechargeable lithium-ion battery // *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 245. P. 153–158.
10. Pan Q., Wang Z., Liu J., Yin G., Gu M. PbO_2C core-shell nanocomposites as an anode material of lithium-ion batteries // *Electrochem. Commun.* 2009. Vol. 11. P. 917–920.
11. Tovar L.L.G., Connor P.A., Belliard F., Torres-Martínez L.M., Irvine J.T.S. Investigation of lead tin fluorides as possible negative electrodes for Li-ion batteries // *J. Power Sources*. 2001. Vol. 97–98. P. 258–261.
12. Wang B., Jin J., Wen Z. *In situ* synthesis of core-shell structured Ge_2NC hybrids as high performance anode material for lithium-ion batteries // *Chem. Eng. J.* 2019. Vol. 360. P. 1301–1309.
13. Wang H., Xing Z., Hu Z., Zhang Y., Hu Y., Sun Y., Ju Z., Zhuang Q. Sn-based submicron-particles encapsulated in porous reduced graphene oxide network: Advanced anodes for high-rate and long life potassium-ion batteries // *Applied Materials Today*. 2019. Vol. 15. P. 58–66.
14. Wang L., Światowska J., Dai S., Cao M., Zhong Z., Shen Y., Wang M. Promises and challenges of alloy-type and conversion-type anode materials for sodium-ion batteries // *Materials Today Energy*. 2019. Vol. 11. P. 46–60.
15. Wang P., Hu J., Cao G., Zhang S., Zhang P., Liang C., Wang Z., Shao G. Suppression on allotropic transformation of Sn planar anode with enhanced electrochemical performance // *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 435. P. 1150–1158.
16. Wood S.M., Powell E.J., Heller A., Mullins C.B. Lithiation and delithiation of lead sulfide (PbS) // *J. Electrochem. Soc.* 2015. Vol. 162. P. A1182–A1185.

Т.Н. ХАМАГАНОВА

Получение и свойства поликристаллов CdB_4O_7 , легированных ионами Cr^{3+}

Впервые поликристаллические фазы $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ ($x = 0,03; 0,05$ и $0,07$) и исходная матрица CdB_4O_7 синтезированы высокотемпературными твердофазными реакциями при 850°C . Методом РФА показано, что твердые растворы кристаллизуются в ромбической сингонии (пр. гр. *Pbca*). Методом ДСК определена температура плавления ($T_{\text{пл.}} = 974^\circ\text{C}$) бората $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : 0,03 \text{Cr}^{3+}$. Построением кривых высвечивания в области $20\text{--}400^\circ\text{C}$ проведены термолуминесцентные исследования. Выявлен оптимальный состав люминофора $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : 0,03 \text{Cr}^{3+}$ с максимальной интенсивностью свечения.

Ключевые слова: поликристаллы, рентгенофазовый анализ, твердые растворы, термолуминесценция.

Obtaining and properties of CdB_4O_7 polycrystals, doped with Cr^{3+} ions. T.N. KHAMAGANOVA (Baikal Institute of Nature Management, SB RAS, Ulan-Ude).

For the first time the polycrystalline phases $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x \text{Cr}^{3+}$ ($x = 0,03; 0,05$ and $0,07$) and the initial CdB_4O_7 matrix were synthesized by high-temperature solid-state reactions at 850°C . The XRD method showed that solid solutions crystallize in rhombic system (sp. gr. *Pbca*). Using the DSC method, the melting point ($T_{\text{m.p.}} = 974^\circ\text{C}$) of $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : 0,03 \text{Cr}^{3+}$ borate was determined. Thermoluminescent studies were performed by plotting the emission curves in the range of $20\text{--}400^\circ\text{C}$. The optimal composition of the phosphor $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : 0,03 \text{Cr}^{3+}$ with a maximum luminescence intensity was revealed.

Key words: polycrystals, X-ray phase analysis, solid solutions, thermoluminescence.

Введение

С возрастанием роли радиационных излучений практически во всех сферах человеческой деятельности возникает проблема их обнаружения и измерения. Помимо традиционных задач дозиметрии (контроль радиационной безопасности человека и окружающей среды, клиническая и технологическая дозиметрия) в настоящее время появляются проблемы, связанные с утилизацией радиоактивных отходов, анализом и ликвидацией последствий радиационных аварий и экологических катастроф. Методы, основанные на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии излучения с веществом, используются для регистрации ионизирующих излучений. В последнее время распространение получили методы твердотельной дозиметрии, в которой в качестве чувствительного вещества детектора излучений используются конденсированные твердые тела диэлектрической и полупроводниковой природы [3, 9]. Для контроля дозы облучения используются датчики, действие которых основано на эффекте термостимулированной люминесценции (ТЛ). Несмотря на большое количество ТЛ-систем, до настоящего времени не решены

ХАМАГАНОВА Татьяна Николаевна – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник (Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ). E-mail: khama@binm.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2017–2020 гг. по направлению V.45, проект № V.45.1.

проблемы измерения дозы облучения кожного покрова слабопроникающим излучением, а также дозиметрии смешанных полей излучения [1].

Неорганические соединения, содержащие ионы кадмия, пригодны для изготовления порошковых матриц, так как проявляют люминесцентные свойства при введении в их структуру некоторых активаторов [1, 7]. Примесные ионы активатора становятся основной частью центров свечения люминофора [2, 8, 17, 20]. Известны бораты одно- и двухвалентных металлов, используемые в качестве твердотельных матриц, применяемых в сцинтилляционных детекторах, плазменных панелях, устройствах поверхностных акустических волн и т.д. [4, 12, 13, 21, 22]. Наиболее известными активаторами являются ионы редких земель, тяжелых и переходных металлов [5, 6, 9, 16, 19, 23]. Исследование при различных температурах отражательных и излучательных спектров порошка $\text{Cd}_2\text{B}_2\text{O}_5$, легированного марганцем, позволило обнаружить его термолюминесценцию при возбуждении ультрафиолетом в спектральном диапазоне $\lambda = 248\text{--}312$ нм [11]. При возбуждении излучением стронций-иттриевого β -источника установлена эмиссия тетрабората CdB_4O_7 , легированного ионами Mn^{2+} и Tb^{3+} [15]. Поэтому для создания новых эффективных люминофоров представляет практический интерес дальнейшее изучение люминесцентных свойств боратных соединений.

Цель настоящей работы – синтез фаз на основе тетрабората кадмия CdB_4O_7 , легированного ионами хрома Cr^{3+} , определение термических, кристаллографических характеристик и изучение влияния концентрации добавок хрома на термолюминесцентные свойства материалов.

Материалы и методы

Методом твердофазных реакций получена серия из трех поликристаллических боратов состава $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ ($x = 0,03; 0,05; 0,07$). Образцы синтезировали из исходных компонентов, которыми служили борная кислота H_3BO_3 марки «х.ч.», оксиды кадмия CdO и хрома Cr_2O_3 квалификации «ч.д.а.» (чистый для анализа). Перед взвешиванием исходные оксиды прокаливали при 500°C в течение 5 ч до постоянной массы. Незначительный избыток H_3BO_3 использовали для компенсации потерь B_2O_3 в процессе термообработки. Отжиг образцов проводили ступенчато в интервале $400\text{--}850^\circ\text{C}$ с промежуточной гомогенизацией продуктов.

Достижение равновесия в исследуемых образцах контролировали методом рентгенофазового анализа (РФА). Рентгеновские данные для синтезированных образцов получены на порошковом автодифрактометре BRUKERD-8 ADVANCE AXS с использованием CuK_α -излучения и детектора VANTEC в интервале $2\theta = 10\text{--}60^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. Параметры элементарных ячеек определены по программе TOPAS-4.

В качестве модели использованы данные монокристалла тетрабората кадмия CdB_4O_7 [14].

Термический анализ бората $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : 0,03 \text{Cr}^{3+}$ выполнен на термоанализаторе Jupiter STA 449C фирмы NETZSCH методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Нагрев образца выполняли со скоростью 10 град/мин.

Термолюминесцентные свойства полученных материалов изучали путем построения кривых высвечивания в интервале $20\text{--}400^\circ\text{C}$ по методике, приведенной в работе [10]. Схема экспериментальной установки описана нами ранее [15]. В настоящей работе в качестве радиационного источника использовали облучатель УФ-кварцевый марки ОУФК-09-1 с эффективным спектральным диапазоном излучений ($205\text{--}315$ нм). Время экспозиции облучателя составляло $5\text{--}15$ мин. Измерения термолюминесцентной чувствительности нормировали по сигналу от эталона, которым служил $\text{LiF} : \text{Mg}, \text{Ti}(\text{TLD-100})$.

Результаты исследований и их обсуждение

В ранее проводимых работах не удавалось получить CdB_4O_7 в чистом виде, в образцах всегда наблюдались следовые количества бора $\text{Cd}_2\text{B}_2\text{O}_5$. Нами разработан способ получения монофазного порошка тетрабората кадмия [3]. Эта методика использована в настоящей работе для синтеза образцов тетраборатакадмия, легированного ионами хрома Cr^{3+} . Полученные фазы идентифицированы методами РФА и ДСК.

Кристаллическая структура CdB_4O_7 содержит двойные взаимопроникающие идентичные друг другу борокислородные сетки. Сетки построены из однотипных боратных единиц, состоящих из четырех искаженных боратных полиэдров. Половина атомов бора имеет четверную координацию. Такая двойная кольцевая структура впервые обнаружена в структуре буры и охарактеризована как изолированный полианион [18]. Атомы кадмия координированы четырьмя атомами кислорода, формирующими искаженные тетраэдры.

Дифрактограммы полученных фаз при сравнении с литературными данными показали их идентичность и были проиндексированы на основе ромбической сингонии, пространственная группа $Pbca$, структурный тип CdB_4O_7 . Полученные параметры ромбических ячеек и их объемы имеют близкие значения. Изменения параметров a , b , c и V элементарных ячеек $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ от содержания активатора x показаны на рис. 1.

Видно, что параметры решеток и их объемы линейно убывают с увеличением степени замещения ионов кадмия на ионы хрома. Характер представленных зависимостей

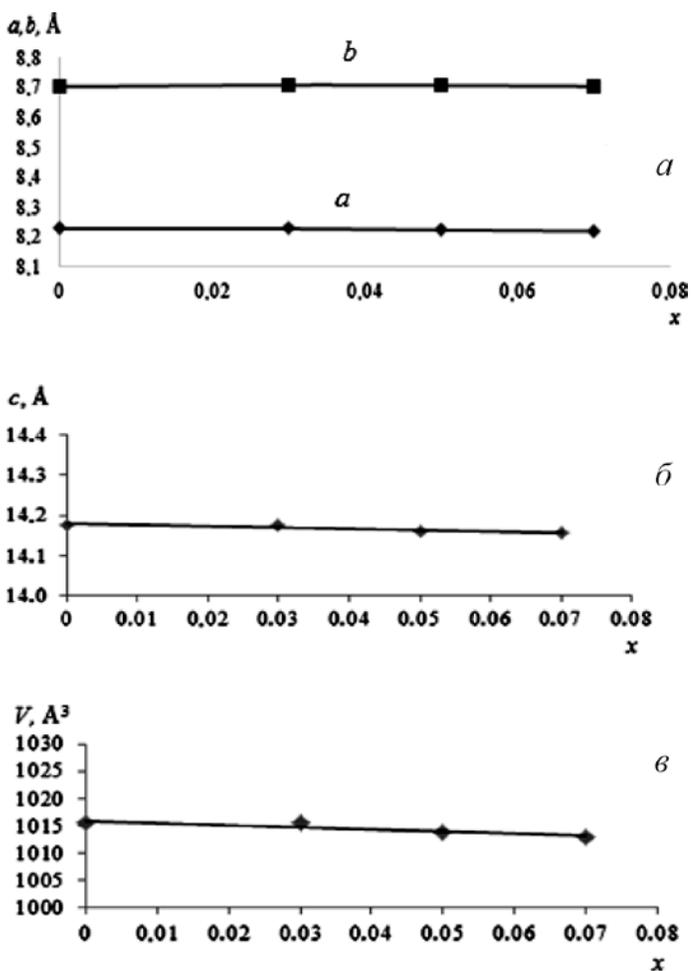


Рис. 1. Зависимости параметров a , b (а) и c (б) и объемов V (в) элементарных ячеек от содержания Cr^{3+} в $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$

изменения параметров ромбических ячеек полученных фаз указывает на образование непрерывного ряда твердых растворов замещения $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ в области изученных концентраций ($0 \leq x \leq 0,07$). Монотонное уменьшение размеров элементарных ячеек можно объяснить меньшим ионным радиусом Cr^{3+} по сравнению с ионами кадмия Cd^{2+} .

Результаты термического исследования легированного образца тетрабората кадмия $\text{Cd}_{0,97}\text{Cr}_{0,03}\text{B}_4\text{O}_7$ приведены на рис. 2.

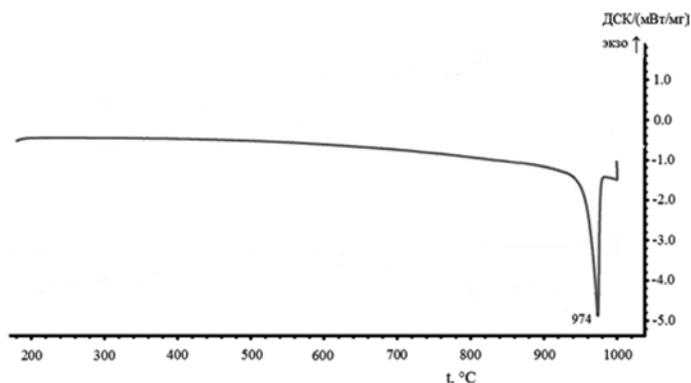


Рис. 2. ДСК-кривая нагревания $\text{Cd}_{0,97}\text{Cr}_{0,03}\text{B}_4\text{O}_7$

характер плавления фазы. По-видимому, изменение температуры плавления легированной фазы связано с повышением дефектности исходной структуры при введении примеси.

Как известно, термолюминесценция может проявляться в веществах с упорядоченной структурой. В таких веществах под действием ионизирующего излучения высокой энергии выбиваются электроны, которые локализуются в дефектах кристаллической решетки (центры захвата). При нагревании вещества поглощенная энергия высвобождается и излучается свет.

Исследования термолюминесцентных свойств полученных твердых растворов позволили определить оптимальный состав термолюминофора, проявляющий наибольшую

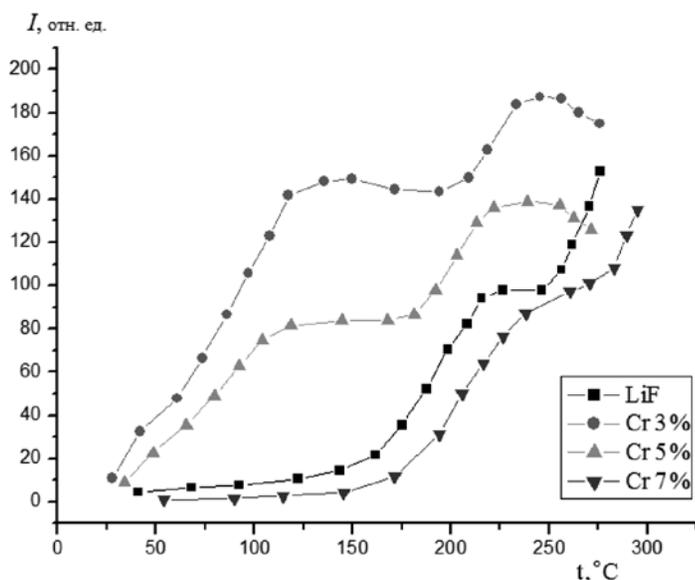


Рис. 3. Кривые термического высвечивания образцов $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ ($x = 0,03; 0,05; 0,07$) и эталона при облучении УФ в течение 5 мин

На кривой нагревания имеется один четко выраженный эндотермический эффект при 974 °С. Эффект отнесен к процессу плавления фазы. Видно, что температура плавления легированной хромом фазы на 2 °С ($T_{\text{пл.}} = 976$ °С) меньше таковой чистого тетрабората кадмия CdB_4O_7 , установленной нами в работе [15]. Там же на основании РФА расплава CdB_4O_7 установлен инконгруэнтный ха-

актер плавления фазы. На рис. 3 представлены кривые термического высвечивания порошков $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ ($x = 0,03; 0,05$ и $0,07$) и эталона при облучении УФ в течение 5 мин.

Анализ полученных кривых высвечивания показал, что эффективность люминесценции уменьшается с ростом концентрации ионов-активатора и максимум свечения соответствует фазе с минимальным содержанием ионов хрома независимо от времени облучения УФ.

Заклучение

Показана принципиальная возможность замещения ионов кадмия в структуре CdB_4O_7 на меньшие по размеру ионы хрома при сохранении кристаллической структуры. Установлено образование непрерывного ряда твердых растворов замещения в исследованном интервале концентраций $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7 : x\text{Cr}^{3+}$ ($0 \leq x \leq 0,07$). Показано, что энергия возбуждения УФ достаточна для проявления термолюминесценции полученными фазами. Установлено, что наиболее интенсивная термолюминесценция наблюдается для бората с минимальной концентрацией ионов хрома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадова Т.И., Шахс А.И. Индивидуальные дозиметры для измерения эквивалентных доз в коже пальцев рук, лица и хрусталике глаза при хроническом и аварийном облучении // АНРИ. 2001. № 3. Р. 21–27.
2. Левшин В.Л., Левшин Л.В. Люминесценция и ее применение. М.: Наука, 1972. 181 с.
3. Пат. 2579390 Российская Федерация, МПК С01С 11/00 С01В 35/12 С30В 29/22. Способ получения тетрабората кадмия CdB_4O_7 / Хамаганова Т.Н., Хумаева Т.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБУН БИП СО РАН. № 2014152605105; заявл. 24.12.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10. 3 с.
4. Пустоваров В. А. Термостимулированная люминесценция твердых тел: учеб. пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. 41 с.
5. Федоров П.П., Кох А.Е., Кононова Н.Г. Борат бария $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ – материал для нелинейной оптики // Успехи химии. 2002. Т. 71, № 8. С. 741–763.
6. Хамаганова Т.Н. Тройные бораты иттербия с барием и стронцием // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2012. Т. 55, вып. 3. С. 10–12.
7. Штольц В., Бернхардт Р. Дозиметрия ионизирующего излучения. Рига: Зинатне, 1982. 142 с.
8. Blasse G. The Luminescence of the Gd (II) Ion and of Cadmium Compounds // J. Alloys Compd. 1994. Vol. 210. P. 71–73.
9. Carel W.E. van Eijk. Inorganic scintillators for thermal neutron detection // Radiat. Meas. 2004. Vol. 38. P. 337–342.
10. Daniels F., Boyd C.A., Saunders D.F. Thermoluminescence as a Research Tool // Science. 1953. Vol. 117. P. 343–349.
11. Dittmann R., Hahn D., Müller U. On the luminescence and thermoluminescence of manganese activated cadmium borate // J. Luminescence. 1970. Vol. 3, N 3. P. 230–239.
12. Han B., Zhang J., Wang Z., Liu Y. Spectroscopic characteristic of Ce^{3+} at two different sites in $\text{Ba}_3\text{Lu}(\text{BO}_3)_3$ under ultraviolet excitation // Opt. Spectrosc. 2014. Vol. 117, N 1. P. 66–71.
13. Huy B.T., Quang V.X., Chau H.T.B. Effect of doping on the luminescence properties of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ // J. Luminescence. 2008. Vol. 128. P. 1601–1605.
14. Ihara M., Krogh-Moe J. Crystal Structure of Cadmium Diborate $\text{CdO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ // Acta Crystallogr. 1966. Vol. 10. P. 132–134.
15. Khamaganova T.N., Khumaeva T.G., Subanakov A.K., Perevalov A.V. Synthesis and thermoluminescence properties of $\text{CdB}_4\text{O}_7:\text{Tb}^{3+}$ and $\text{CdB}_4\text{O}_7:\text{Mn}^{2+}$ // Inorg. Mater. 2017. Vol. 53, N 1. P. 81–85.
16. Lee S., Trinh M.-T., Nam J.-R., Lim K.-S., Lee M., Kim E. Laser-induced defect centers and valence state change of Mn ions in sodium borate glasses // J. Luminescence. 2007. Vol. 122–123. P. 142–145.
17. Lei B., Liu Y., Liu J., Ye Z., Shi C. Pink light emitting long-lasting Phosphorence in Sm^{3+} -doped CdSiO_3 // J. Solid State Chem. 2004. Vol. 177. P. 1333–1337.
18. Morimoto N. The crystal structure of Borax // Mineral. J. (Japan). 1956. Vol. 2, N 1. P. 1–18.
19. Omanwar S.K., Koparkar K. A., Virk H.S. Recent Advances and Opportunities in TLD Materials: A Review // Trans. Tech. Publ. 2014. Vol. 347. P. 75–110. (Defect and Diffusion Forum).
20. Schepler K.L., Kiick S., Shiozawa L. Cr^{2+} emission spectroscopy in CdSe // J. Luminescence. 1997. Vol. 72–74. P. 116–117.
21. Simura R., Kawai S., Sugiyama K., Yanagida T., Sugawara T., Shishido T., Yoshikawa A. Valence state of dopant and scintillation properties of Ce-doped $\text{Sr}_3\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ crystal // J. Cryst. Growth. 2013. Vol. 262. P. 296–299.
22. Un A. Investigation of dopant effect on some TL dosimeters containing boron // Radiat. Phys. Chem. 2013. Vol. 85. P. 23–35.
23. Wang D.-Y., Chen T.-M., and Cheng B.-M. Host Sensitization of Tb^{3+} Ions in Tribarium Lanthanide Borates $\text{Ba}_3\text{Ln}(\text{BO}_3)_3$ (Ln = Lu and Gd) // Inorg. Chem. 2012. Vol. 51, N 5. P. 2961–2965.

О.А. ГОЛУБИНА, И.А. ПЕРЕДЕРИНА, Е.Н. ТВЕРЯКОВА,
Ю.Ю. МИРОШНИЧЕНКО, Е.А. КУРЦЕВИЧ, П.Б. БОРИСОВ

Содержание биогенных микро- и макроэлементов (Zn, Co, Cr, Na, Ca, Fe) в эвтрофной торфяной залежи

Методом нейтронно-активационного анализа охарактеризованы торфы и болотные воды месторождения Таган (Томский район, Томская область) на содержание биогенных макро- (Na, Ca, Fe) и микроэлементов (Zn, Co, Cr). Анализ образцов с нескольких пунктов наблюдений, различающихся по ботаническому составу и гидротермическим условиям залегания, показал, что элементный состав торфов характеризуется региональными особенностями и ботаническим составом. Концентрации элементов по глубинам трех пунктов наблюдений изменяются синхронно, что свидетельствует о типичности условий накопления этих элементов. Среднее содержание микроэлементов в изучаемой торфяно-болотной экосистеме сопоставимо со средними значениями данного региона.

Ключевые слова: биогенные элементы, нейтронно-активационный анализ, микроэлементы, макроэлементы, ботанический состав, болотные воды, торф.

Content of biogenic micro-and macronutrients (Zn, Co, Cr, Na, Ca, Fe) in the eutrophic peat deposit O.A. GOLUBINA^{1,2}, I.A. PEREDERINA¹, E.N. TVERYAKOVA¹, Yu.Yu. MIROSHNICHENKO^{1,3}, E.A. KURTSEVICH¹, P.B. BORISOV¹ (¹Siberian State Medical University, ²Tomsk State Pedagogical University, ³National Research Tomsk Polytechnic University).

The concentration of biogenic macro- (Na, Ca, Fe) and microelements (Zn, Co, Cr) in peat and bog waters of the Tagan Deposit (Tomsk District, Tomsk Region) was determined by neutron activation analysis. Analysis of samples from several observation points which differ in botanic composition and hydrothermal mode of occurrence showed that the amount of various elements in peat is determined by regional characteristics and botanical composition. From comparative elements concentration analysis, it has been found that concentration of elements varies identically depending on the depth of the peat bog, which indicates typical conditions for the accumulation of these elements. The average concentration of trace elements in the studied peat-bog ecosystem is comparable to the average values of this region.

Key words: biogenic elements, neutron activation analysis, microelements, macroelements, alkaline earth metals, botanical composition, swamp waters, peat.

*ГОЛУБИНА Ольга Александровна – кандидат химических наук, доцент (Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Томский государственный педагогический университет, Томск), ПЕРЕДЕРИНА Ирина Александровна – кандидат химических наук, доцент (Сибирский государственный медицинский университет, Томск), ТВЕРЯКОВА Елена Никитична – кандидат химических наук, доцент (Сибирский государственный медицинский университет, Томск), МИРОШНИЧЕНКО Юлия Юрьевна – кандидат химических наук, доцент (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Сибирский государственный медицинский университет, Томск), КУРЦЕВИЧ Екатерина Андреевна – лаборант кафедры химии (Сибирский государственный медицинский университет, Томск), БОРИСОВ Петр Борисович – студент (Сибирский государственный медицинский университет, Томск). *E-mail: mtgolubin@yandex.ru

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-43-700014 p_a.

Введение

Торф – древний, но до настоящего времени недостаточно изученный химический ансамбль органических и неорганических веществ природного происхождения. Торф содержит комплекс биологически активных веществ, в составе которого гуминовые и фульвокислоты, более 30 микро- и макроэлементов, таких как натрий, кальций, железо, кобальт, хром и другие [24]. Сочетание органических и минеральных соединений определяет широкий спектр полезных свойств торфа. Каждое из этих веществ участвует в обменных процессах организма, одновременно активизирует метаболизм клеток и тканей. Ценный природный комплекс биоактивных соединений из торфа может использоваться для создания общеукрепляющих и тонизирующих лекарственных средств, способствующих ускорению минерального обмена и повышению защитно-адаптогенных возможностей организма.

Применение лекарственных препаратов на основе торфа обосновано многочисленными исследованиями [5]. Однако концентрация изучаемых макро- и микроэлементов и органических веществ, связанных с ними, варьирует в зависимости от геохимической и экологической обстановки на территории торфяного месторождения.

В настоящее время большой научный и коммерческий интерес представляют торфяные месторождения Западно-Сибирского региона.

Цель исследования – оценка концентрации биогенных макро- и микроэлементов в торфах и болотных водах торфяно-болотной экосистемы Таган (Томский район, Томская область).

Особенность элементного состава торфяных залежей обусловлена разнообразием гидрогеологических условий Западно-Сибирской равнины [2, 13, 20]. К основным источникам поступления неорганических элементов в торфяную залежь относят минеральную часть растений-торфообразователей (первичная зола) и привнесенные с потоками водной и воздушной миграции соединения (вторичная зола) [1, 2]. Известно, что многие макро- (кальций, железо) и микроэлементы (особенно d-элементы – кобальт и хром), поступающие в торфяную залежь, способны образовывать прочные комплексные соединения с гуминовыми и фульвокислотами [3, 8, 18, 23].

Для анализа выбраны шесть биогенных элементов – натрий, кальций, железо, цинк, кобальт, хром, которые участвуют в биохимических процессах живых организмов и растений. Накопление ионов этих металлов в торфах и болотных водах может характеризовать фармакологические свойства растительного сырья [5, 14].

Материалы и методы

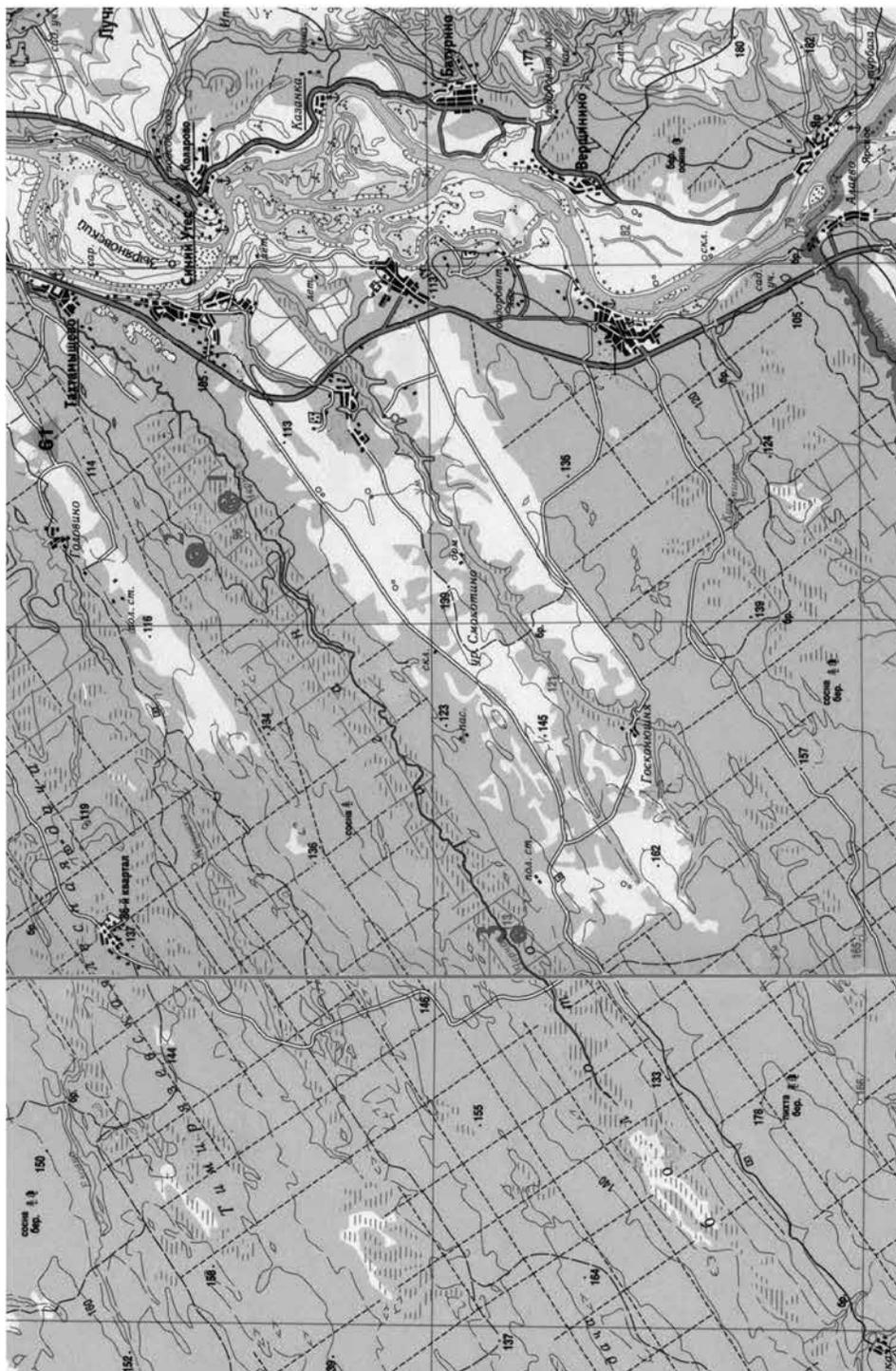
Объектом исследования послужили торфы и болотные воды месторождения Таган, которое находится на территории Томского района Томской области. Его площадь 541 га, запасы торфа при 40%-й влажности составляют 14 766 тыс. м³ [11].

Торфяная залежь месторождения, наибольшая мощность которой 9,3 м, представлена в основном низинными торфами, подстилающие грунты – песками, супесями и суглинками [10, 19]. Торфяное месторождение подпитывается атмосферными осадками и склоновыми водами, поступающими с вышележащих водосборов. Основные водоприемники объекта – реки Чёрная и Томь. Растительность в настоящее время находится в эвтрофной фазе развития. Почти вся территория торфяного месторождения занята низинными и верховыми фитоценозами древесно-топяных и топяных групп.

Отбор образцов проводили на трех пунктах наблюдений (см. рисунок), находящихся на разных участках месторождения и различающихся по гидротермическим условиям.

Пункт 1 (П.1) представляет собой естественный участок. Мощность торфяной залежи около 300 см. Подстилающая порода – заиленный песок. В древесном ярусе преобладают

Расположение пунктов наблюдений (1–3) на торфяном месторождении Таган [9]



береза и угнетенные сосны. Наземный покров сложен крапивой, осокой и папоротником. Пункт 2 (П.2) расположен на расстоянии 75–100 м от П.1. На территории этого участка проведены борозды глубиной 0,5 м, расстояние между бороздами 2–4 м (агроресомелиорация). Растительный покров сходен с таковым на П.1. Мощность залежи до 300 см, подстиляется песком. Пункт 3 (П.3) – генетический центр данного месторождения. Торфяная залежь здесь имеет мощность до 400 см. Растительный покров иной, чем на территориях П.1 и П.2: древесный ярус – лиственница, сосна, наземный покров представлен в основном осокой на кочках.

Отбор проб торфов в каждом пункте проводили в соответствии с ботаническим составом до минерального грунта. Основные физико-химические и технические характеристики торфов (ботанический состав, степень разложения (R), обменная кислотность (рН), зольность (A)) определяли по стандартным методикам^{1, 2, 3}.

Болотные воды отбирали из колодцев, оборудованных на каждом пункте наблюдений. Образцы вод пропускали через фильтр «синяя лента», выпаривали и анализировали содержание макро- и микроэлементов в сухом остатке.

Элементный состав определяли методом нейтронно-активационного анализа. Образцы торфов и сухой остаток болотных вод анализировали на ядерном реакторе, снабженном анализаторной системой «CANBERRA». Навеску сухих торфов и остатка болотных вод озоляли, золу упаковывали в алюминиевую фольгу и вместе со стандартными образцами облучали в вертикальном канале в потоке тепловых нейтронов $2,2 \cdot 10^{13}$ н/см²·с в течение 7 ч.

Результаты и их обсуждение

При изучении основных характеристик торфов и болотных вод месторождения Таган (см. таблицу) выявлено, что в залежи каждого пункта по мере углубления отбора проб степень разложения и зольность изменяются в зависимости от ботанического состава. Реакция среды изучаемых торфов слабокислая, близкая к нейтральной, находится в интервале 5,79–6,84.

Анализ результатов изучения элементного состава показал, что в болотных водах и торфах данного месторождения наиболее интенсивно накапливаются натрий и кальций. Данную закономерность можно объяснить приносом этих элементов водной фазой и последующим их накоплением растительной массой [28, 29]. Содержание натрия в образцах торфов месторождения не превышает среднего по региону показателя и изменяется в интервале 0,035–0,800 %. Причем наименьшее содержание натрия характерно для залежи П.1 (среднее значение 0,043 %), максимальное – для залежи П.2 (0,190 %).

Необходимо отметить, что концентрация натрия изменяется незначительно по профилю залежей П.1–3: благодаря высокой растворимости и подвижности его соединения легко выносятся из торфяной залежи при условии повышенной влажности. А на глубине 250–275 см отмечается увеличение концентрации натрия во всех трех пунктах наблюдений. Особенно ярко эта тенденция прослеживается в залежах П.2 и П.3, где отмечено увеличение этого показателя в 20 и 10 раз соответственно.

Известно, что торфяные залежи имеют два параллельных слоя, которые гидравлически взаимосвязаны, но интенсивность водообмена в них различна [13, 28]. Верхний слой обладает большей проницаемостью и более высокой скоростью водообмена. Нижний в большей части инертен, имеет низкую скорость водообмена. Из этого следует, что даже подвижные ионы натрия в нижнем (инертном) слое торфяной залежи могут концентрироваться.

¹ ГОСТ 11623-89. Торф и продукты его переработки его для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности. М., 1989. 5 с.

² ГОСТ 28245-89. ТОРФ. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М., 1989. 9 с.

³ ГОСТ 6801-86. ТОРФ. Метод определения зольности в залежи. М., 1986. 4 с.

Основные характеристики торфов и болотных вод в пунктах наблюдений месторождения Таган (П.1-3)

Пункт, глубина, см	Группа торфа	Степень разложения R, %	Зольность А, %	ГК	ФК	рН	Содержание макроэлементов, %			Содержание микроэлементов, мг/кг**		
							Na	Ca	Fe	Zn	Co	Ct
Пункт 1												
0-25	Травяной	35	11,17	18,55	15,06	5,79	0,036	1,25	2,20	40,22	2,23	3,71
25-50	-//-	35	9,41	19,24	17,36	5,79	0,038	1,05	1,90	20,10	2,21	2,03
100-125	-//-	30	10,32	17,31	16,06	5,67	0,048	1,14	2,20	32,41	2,24	4,01
200-225	Древесный	40	10,71	16,67	16,28	6,08	0,037	1,35	3,31	29,93	2,36	3,72
250-275	Травяной	40	8,89	18,76	17,44	6,11	0,058	1,59	1,22	26,21	1,71	4,92
<i>Болотная вода*</i>	-	-	-	17,20	32,70	7,40	2,040	0,56	0,36	10,58	1,39	0,64
Пункт 2												
0-25	Древесный	35	14,40	26,51	13,01	6,21	0,044	1,39	3,53	12,62	3,38	3,82
25-50	Травяной	30	12,56	16,10	18,32	5,96	0,035	1,20	1,50	8,63	2,23	2,34
100-125	Древесно-травяной	35	9,99	19,60	16,54	5,81	0,035	1,33	1,51	13,12	2,21	3,10
200-225	Гипново-осоковый	45	9,18	24,09	13,29	5,95	0,038	1,47	1,32	14,63	2,13	4,21
250-275	-//-	45	52,28	15,47	17,02	5,98	0,800	0,94	0,90	20,32	2,09	26,33
<i>Болотная вода*</i>	-	-	-	11,50	45,30	7,10	2,250	0,43	0,43	8,29	1,00	0,36
Пункт 3												
0-25	Вахтовый	35	9,74	36,11	12,09	6,49	0,044	2,11	3,61	46,20	2,10	6,40
25-50	-//-	35	15,07	37,82	12,41	6,40	0,041	2,00	2,32	35,24	1,64	5,70
100-125	Древесно-вахтовый	40	10,82	28,50	11,52	6,45	0,044	2,14	2,73	31,82	1,32	6,50
200-225	Травяной	40	30,25	33,52	11,42	6,52	0,052	2,32	2,40	53,31	1,56	6,80
250-275	Осоковый	50	18,78	44,31	10,02	6,84	0,414	1,64	16,00	39,20	2,10	23,40
<i>Болотная вода*</i>	-	-	-	5,70	9,70	7,60	4,420	0,12	0,56	4,33	0,48	0,38

* Содержание гуминовых (ГК) и фульвовых (ФК) кислот для болотных вод, мг/л.

** Содержание микроэлементов в болотных водах, мг/л^{10⁴}.

Среднее содержание кальция составляет 1,53 % во всех пунктах наблюдений. Причем содержание данного элемента в залежах П.1 и П.2 имеет очень близкие значения – 1,28 и 1,27 % соответственно. В залежи П.3 концентрация кальция практически в 2 раза выше – среднее значение 2,042 %. В целом по торфяному профилю концентрация кальция изменяется динамично. В торфяных залежах П.1–3 на глубине 0–25 см содержание ионов кальция (см. таблицу) выше, чем на глубине 25–50 см. Ионы кальция адсорбируются на поверхности торфяной залежи гуминовыми кислотами [27]. Для торфов данного месторождения коэффициент корреляции (r) между содержанием гуминовых кислот и содержанием кальция составляет 0,75; между содержанием фульвокислот и кальция наблюдается обратная зависимость ($r = -0,77$). В залежах П.1 и П.2 отмечен рост концентрации кальция на глубине 100–275 см. Но в торфяной залежи П.3 на глубине 250–275 см содержание данного элемента уменьшается. Это может быть связано с изменением ботанического состава торфов с травяного (представленного смесью вахты, осоки и хвоща) на осоковый.

Железо – один из наименее подвижных элементов осадочных пород, однако под действием органических веществ торфа ионы железа ($Fe_{\text{общ}}$) могут участвовать в миграционных процессах. Торфяные массы болот Западной Сибири образуют ландшафтно-геохимические системы различной сложности, в которых миграция химических элементов протекает с участием органического вещества из торфа [26].

Происхождение различных форм соединений железа в торфе связано с особенностями развития торфяника. В торфах низинного типа формирование соединений железа протекает при разложении исходного растительного материала, в котором железо находится в биохимически связанном состоянии, а также при поглощении соединений железа торфяной залежью из фильтрующихся вод путем адсорбции, ионного обмена, комплексообразования на поверхности торфяных частиц и в торфяной воде [3, 7, 16].

Основная часть подвижных форм соединений железа находится в торфе в виде обменных катионов в макромолекулах гумусовых веществ, углеводного комплекса и лигнина. Часть подвижных форм соединений железа, по-видимому, находится на поверхности частиц торфа в виде адсорбированных железоорганических комплексов и коллоидных частиц. Некоторая часть железа связана в торфе в виде непрочных железогумусовых комплексов, способных диссоциировать. При этом ионы железа переходят в раствор (например, комплексы железа с фульвокислотами).

При сравнении полученных экспериментальных значений содержания общего железа (см. таблицу) обнаружено, что его концентрация в залежи П.1 изменяется от 1,2 до 3,3 %. В профиле П.2 содержание железа составляет 0,9–3,5 %. В профиле исследуемых участков выделяются горизонты с повышенным содержанием железа. На естественном участке П.1 такой горизонт находится на глубине 175–200 см, где среднее содержание $Fe_{\text{общ}}$ составляет 3,3 %. В залежи П.2 в результате осушения происходит концентрирование $Fe_{\text{общ}}$ в верхнем слое торфяной залежи (0–25 см). Торфяная залежь П.2, подвергшаяся агролесомелиорации, в целом характеризуется более низким содержанием общего железа – 1,74 % по сравнению с торфами П.3. В целом в торфяной залежи П.3 концентрация железа в 2 раза выше, чем в залежах П.1 и П.2. Увеличение концентрации железа в залежи П.3, возможно, связано с реакцией среды, близкой к нейтральной ($pH = 6,4–6,8$), при которой ионы железа могут образовывать малоподвижные гидросоединения. Резкое увеличение концентрации железа на глубине 250–275 см (до 16 мг/кг) связано с привнесением минеральных соединений из подстилающей породы.

У железа, аналогично кальцию, наблюдается прямая зависимость между его концентрацией и содержанием ГК ($r = 0,66$) и обратная зависимость между содержанием железа и ФК ($r = -0,57$), что еще раз подтверждает присутствие ионов железа и кальция в составе гуминовых комплексов.

Кобальт и хром, в отличие от железа, встречаются в торфяных залежах в низких концентрациях и являются рассеянными элементами. Многие авторы отмечают [6, 14, 18], что

в болотных фитоценозах при разложении органического вещества микроэлементы (Co, Cr и др.) накапливаются в слабопроточных болотных водах и концентрируются в растениях. Поэтому, несмотря на меньшее количество древесной растительности по сравнению с лесами, в болотных фитоценозах в биологический круговорот вовлекаются большие массы рассеянных элементов.

Для элементов Co, Cr прослеживаются благоприятные гидротермические условия биогенной аккумуляции в верхнем слое торфяного профиля. На глубине 25 см наблюдается снижение концентрации этих элементов в среднем в 1,5 раза. В целом колебания концентраций на глубинах 50–225 см в П.1–3 незначительны. И только вблизи придонного слоя, на глубине 250–275 см, происходит резкое изменение концентраций – увеличивается накопление Cr в залежах всех трех пунктов наблюдений. Максимальное накопление отмечается в залежи П.2 – 26,33 мг/кг. Высокий коэффициент корреляции ($r = 0,95$) между содержанием хрома и натрия и ($r = 0,54$) между содержанием хрома и железа свидетельствует о том, что большая часть хрома входит в состав первичных минералов и оксидов железа в форме Cr^{+3} [8, 26].

Ранее нами были изучены окислительно-восстановительные условия торфяной залежи месторождения Таган [12]. Исследования показали, что окислительно-восстановительный потенциал в верхних слоях залежи торфа (0–50 см) составляет (200–600 мВ), что свидетельствует о преобладании окислительных процессов, а в нижних слоях (50–275 см) условия меняются на восстановительные ($\Phi = |-200|$ мВ). Понижение кислотности среды ($pH > 5,5$) при высокой концентрации ионов железа (II) приводит к восстановлению Cr (VI) до Cr (III) с образованием относительно нерастворимой гидроокиси $Cr_{1-x}Fe(OH)_3 \times nH_2O$ [6].

Среднее содержание кобальта в торфах экосистемы Таган составляет 2,1 мг/кг, что в три раза ниже кларкового значения, равного 7,3 мг/кг [14, 17], и в 1,5 раза ниже усредненного значения в торфах Западной Сибири [1]. В образцах, сложенных древесными торфами, отмечается небольшое увеличение содержания Co, в среднем в 1,2 раза по сравнению с травяными торфами. Полученные нами экспериментальные данные подтверждают мнение авторов [2] о том, что в древесно-осоковых болотах, подстилаемых песчаниками или глинами, содержание кобальта принимает невысокие значения и стабильно по всей глубине торфяного профиля. Кобальт в природных объектах в кислой среде находится преимущественно в состоянии Co^{2+} . По данным работы [22], оксиды железа в кислой среде обладают избирательной способностью к адсорбции кобальта. Значение pH, близкое к нейтральному, и отсутствие корреляции между железом и кобальтом в торфяной залежи месторождения Таган подтверждают данную зависимость.

Содержание цинка в торфах данного месторождения составляет 28,66 мг/кг. Наиболее высокие концентрации цинка отмечены в торфах П.1 и П.3 – 29,77 и 41,15 мг/кг соответственно, а наиболее низкие – в торфах осушенного участка П.2. – 13,86 мг/кг. Повышенные концентрации цинка в верхних слоях залежи указывают на биогенную аккумуляцию данного элемента. В целом по всем пунктам наблюдения можно отметить, что коэффициент корреляции между содержанием гуминовых кислот (ГК) и содержанием цинка составляет $r = 0,62$, а между содержанием фульвокислот (ФК) и цинка $r = -0,59$. Это дает основание предположить, что ионы цинка частично связаны в комплексные соединения с ГК.

Торфы П.3 имеют самое высокое значение pH – 6,5 и отличаются высокими концентрациями цинка и кальция. Известно [22], что торфы, насыщенные кальцием, максимально адсорбируют цинк. Подвижность ионов цинка уменьшается с увеличением степени насыщенности торфов кальцием и фосфором [19, 21], возможно, вследствие образования малорастворимых фосфатов. В залежи данного пункта валовое содержание фосфора достигает 2,25 % [10]. Вычисленный коэффициент корреляции $r = 0,66$ между цинком и кальцием указывает на взаимодействие между этими элементами. Известно, что основной и наиболее подвижной формой цинка в природных объектах является Zn^{2+} , а важнейшими процессами, контролирующими подвижность цинка, являются адсорбция, окклюзия,

образование хелатных и комплексных соединений, а также микробиологическая фиксация [21]. Можно предположить, что ионы Zn^{2+} в торфяной залежи находятся в виде коллоидных малоподвижных гидроксида и фосфата цинка.

Таким образом, анализ результатов исследования показывает, что из макроэлементов в торфе лучше всего накапливаются железо и кальций, из микроэлементов – цинк.

Одновременно с образцами торфов на пунктах наблюдений П. 1–3 были отобраны из колодцев и проанализированы болотные воды.

Химический состав болотных вод определяется рядом факторов [26]. К внешним факторам относятся геоморфологическое положение болот, особенности водного питания, химический состав почвообразующих пород. Внутренние факторы обусловлены интенсивностью биохимических процессов, протекающих в торфяной залежи.

Воды болот характеризуются рядом специфических особенностей – они обогащены веществом гумусовой природы, содержат значительные количества органических и минеральных веществ и окрашены в желтоватый или коричневый цвет.

По литературным данным [4, 15, 25], среднее значение рН для болот низинного типа составляет 6,7. Для болотных вод исследуемых пунктов наблюдений (П.1–3) рН варьирует от 7,1 до 7,6. Реакция среды может быть охарактеризована как слабощелочная. Образцы болотных вод являются гидрокарбонатно-кальциевыми с общей минерализацией 163 мг/л.

Гуминовые и фульвокислоты составляют основную часть органического вещества болотных вод [4]. Состояние ГК и ФК и их соотношение в болотных водах определяются химическим составом вод, рН среды и другими факторами. Содержание ГК в исследуемых образцах воды изменяется от 5,7 до 17,2 мг/л.

Повышенная растворимость ФК по сравнению с ГК способствует увеличению их концентрации в болотных водах. В процессе окисления ГК происходит деструкция их макромолекул на составные части и уменьшение молекулярной массы [4]. Содержание ФК в болотных водах составляет 9,7–45,3 мг/л. Количество ФК в водах П.1 и П.2 значительно выше, чем в водах П.3, концентрация ФК более чем в 2 раза превышает содержание ГК.

Анализ результатов исследования показывает, что болотные воды по сравнению с торфами в большей степени обогащены солями натрия и цинка, в меньшей – хромом и железом. По содержанию макроэлементов натрия и железа болотные воды и торфы имеют одинаковое распределение. Установлено, что максимальное содержание этих элементов – в торфах и водах П.3. Распределение цинка и хрома в болотных водах отличается от их распределения в торфах. Максимальное содержание цинка отмечено в торфах П.1, минимальное – в воде П.3. Для хрома максимальная концентрация зафиксирована в болотной воде П.1, минимальная – в торфах П.2, 3. Из этого следует, что в болотные воды мигрируют более подвижные растворимые формы изучаемых нами макро- и микроэлементов, а малорастворимые формы остаются в торфяной залежи.

В связи с тем что торфы месторождения Таган обогащены соединениями железа, цинка, а также имеют в своем составе хром и кобальт, их можно рассматривать в качестве сырья для производства биологически активных препаратов.

Выводы

1. Общее содержание натрия, кальция, железа, цинка, хрома, кобальта в торфах и болотных водах торфяного месторождения Таган Томского района определено методом нейтронно-активационного анализа. Установлено, что элементы избирательно накапливаются в разных слоях торфяной залежи в соответствии с геохимическими зонами.

2. Максимальная концентрация изучаемых нами микро- и макроэлементов установлена в торфах и болотных водах генетического центра торфяного месторождения пункта 3.

3. Изменения концентраций ионов натрия, кальция, железа, цинка, хрома, кобальта на одной и той же глубине в трех пунктах наблюдений происходят с высокой степенью синхронности, что свидетельствует о типичности условий накопления этих элементов в течение всего периода формирования залежи.

4. Содержание изучаемых макро- и микроэлементов в торфах месторождения Таган сопоставимо со средними значениями для данного региона и не превышает предельно допустимых концентраций для растительного лекарственного сырья. Поэтому торфы могут быть использованы для получения актуальных лекарственных препаратов. При этом следует учитывать неоднородный состав торфяной залежи и тщательно контролировать отбор сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов С.И., Архипов В.С., Бернатонис В.К., Бобров В.А., Маслов С.Г., Межибор А.М., Прейс Ю.И., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф., Сысо А.И. Среднее содержание некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2009. Т. 315, № 1. С. 44–48.
2. Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Железо в торфах центральной части западной Сибири // Почвоведение. 1997. № 3. С. 345–351.
3. Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение кальция и железа в вертикальном профиле торфяных залежей таежной зоны Западной Сибири // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2013. Т. 323, № 1. С. 173–178.
4. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И., Корчунов С.С., Петрович В.М. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 358 с.
5. Бузлама А.В., Чернов Ю.Н. Анализ фармакологических свойств, механизмов действия и перспектив применения гуминовых веществ в медицине // Эксперим. и клинич. фармакология. 2010. Т. 3, № 9. С. 43–48.
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
7. Водяницкий Ю.Н., Плеханова О.И. Биогеохимия тяжелых металлов в загрязненных переувлажненных почвах // Почвоведение. 2014. № 3. С. 273–282.
8. Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Биогеохимия углерода, железа и тяжелых металлов в переувлажненных почвах // Почвоведение. 2015. № 3. С. 3–12.
9. Географические карты районов Томской области. – <http://tomsk-obl.ru/1262402.html> (дата обращения: 03.02.2020).
10. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 324 с.
11. Голубина О.А., Твержкова Е.Н., Передерина И.А., Жолобова Г.А., Борисов П.Б., Иванова И.А., Зыкова М.В. Закономерности распределения подвижных соединений Fe^{2+} и Fe^{3+} в торфяной залежи эвтрофного болота // Экол. химия. 2019. Т. 28, № 2. С. 69–78.
12. Голубина О.А., Горельский В.А., Жильцов К.Н., Лайком А.О. Свойства пирогенных торфяных эвтрофных почв болота Таган (юг Томской области) // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2015. № 391. С. 232–237.
13. Голубина О.А. Химическая характеристика углеводородного сырья месторождения «Таган» // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. 2015. № 3. С. 11–18. (Серия: Химия. Биология. Фармация).
14. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
15. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Водные ресурсы болот России и оценка их химического состава // География и природные ресурсы. 1998. № 2. С. 79–84.
16. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.
17. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 т. М.: Недра, 1994–1999.
18. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
19. Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., Ларина Г.В., Порохина Е.В., Шинкеева Н.А., Шурова М.В. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета. Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. 148 с.
20. Инишева Л.И., Боровкова А.Ф., Порохина Е.В., Аристархова В.Е. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: Томский гос. педагог. ун-т, 2007. 224 с.
21. Инишева Л.И., Цыбукова Т.Н., Веретенникова Е.Э. Содержание химических элементов в торфах южно-таежной подзоны Западной Сибири // Проблемы биогеохимии и геохим. экологии. 2012. № 3 (20). С. 13–22.
22. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
23. Литвинова Т.Н., Выскубова Н.К., Ненашева Л.В. Биогенные элементы. Комплексные соединения / под ред. проф. Т.Н. Литвиновой. Ростов н/Д.: Феникс, 2009. 283 с.
24. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. М.: Недра, 1989. 302 с.
25. Нейштадт М.И., Жуков В.М., Олюнин В.Н. и др. Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. 227 с.
26. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. М.: Астерия-2000, 1999. 610 с.
27. Поляков Е.В., Волков И.В., Хлебников Н.А., Цуканов Р.Р., Иошин А.А. Конкурентная сорбция как метод дезактивации материалов // Радиохимия. 2015. Т. 57, № 2. С. 149–153.
28. Рассказов Н.М. Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2005. Т. 308, № 4. С. 55–58.
29. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.М., Здвижков М.А. Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 139–149.

Б.Ф. ПШЕНИЧНИКОВ, Н.Ф. ПШЕНИЧНИКОВА, А.С. ЯКШИНА

Влияние пирогенного фактора на содержание тяжелых металлов в буроземях побережья юго-востока Приморья

Рассматривается влияние пирогенного фактора на содержание тяжелых металлов (свинца, цинка, кадмия, никеля, меди, кобальта, хрома, марганца) и их внутрипрофильное распределение в буроземях под разной растительностью. Исследования проводились на мысе Островной и сопредельной территории япономорского побережья, прилегающей к пос. Заповедный Лазовского района Приморского края.

Установлено, что в буроземях гари по сравнению с почвами сопредельных участков под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками наблюдается увеличение содержания рассматриваемых тяжелых металлов, что, вероятно, связано с их дополнительным поступлением с золой. Показано, что для буроземов гари характерны более высокие коэффициенты концентрации (Кс) свинца, цинка, кадмия, меди и марганца по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками. Отмечены различия в поведении элементов: свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю в иллювиально-гумусовые горизонты.

Подсчет суммарного показателя загрязнения Саета показал, что в буроземях гари фиксируется допустимый (низкий) уровень загрязнения в поверхностном аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный – в иллювиальной части профиля. Однако применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (Кт) при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает Кс элементов, относящихся к I классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения, в данном случае следует обращать особое внимание на класс опасности загрязнителей.

Ключевые слова: бурозем, растительность, пожары, тяжелые металлы, коэффициент концентрации, уровень загрязнения.

Impact of pyrogenic factors on heavy metal content in burozems of South-Eastern coast of Primorye. B.F. PSHENICHNIKOV¹, N.F. PSHENICHNIKOVA², A.S. YAKSHINA¹ (¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, ²Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok).

The research focuses on the impact of pyrogenic factor on heavy metal content (lead, zinc, cadmium, nickel, copper, cobalt, chromium and manganese) and its profile distribution in burozems under different types of vegetation in the Ostrovnoy Cape (the Sea of Japan) and the bordering territory, close to Zapovedny settlement of Lazovsky District (Primorsky Krai).

The results show that burozems of the burnt forest areas if compared to burozems of adjacent oak forests and grass-shrub communities demonstrate increased heavy metal levels, most likely due to heavy metal introduction with burnt down plant remains. Burozems of the burnt forest areas have higher concentration coefficients (C_c) of lead, zinc, cadmium, copper, and manganese than burozems of the forests and grass-shrub communities unexposed to fires. Of all the elements under study, lead, cadmium, and cobalt tend to accumulate most in accumulative-humus horizons while nickel, zinc, copper, chromium, and manganese migrate down the soil profile into humic-illuvial horizons.

*ПШЕНИЧНИКОВ Борис Федорович – доктор биологических наук, профессор, ЯКШИНА Александра Сергеевна – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ПШЕНИЧНИКОВА Нина Федоровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: bikinbf@mail.ru

Integral index of pollution (Zc) values show that burozems of the fire-sites have permissible (low) level of heavy metal pollution in the upper accumulative-humus part of the soil profile and moderately hazardous level in the middle illuvial part. However, element toxicity correction factor (Ct), when calculating integral index of pollution, increases Cc values for lead, zinc, and cadmium as hazard category 1 substances. Therefore, in this case special attention should be paid to the pollutant hazard category (extremely hazardous substances) regardless of the permissible (low) and moderately hazardous pollution levels.

Key words: burozem, vegetation, fires, heavy metals, concentration coefficient, pollution level.

Введение

Проблема сезонных лесных пожаров, которым подвержена почти треть территории Приморья [24, 26], в том числе и ее приокеаническая часть, приобретает все большую актуальность.

Среди лесных экосистем юга Дальнего Востока прибрежно-островные территории региона выделяются оптимальностью эколого-географических условий для возникновения и распространения пожаров. Экологическими предпосылками повышенной пожароопасности являются: 1) характерная черта климата – низкая влажность воздуха в весенне-осенний период в сочетании с большой интенсивностью ветра; 2) широкая распространенность, по сравнению с другими лиственными породами, дубняков и сухость местообитаний [17].

Лесные пожары не только уничтожают растительные ресурсы, они изменяют экологическую ситуацию и состояние всех компонентов ландшафта. Почвенный покров, концентрирующий в себе защитные и буферные функции геосистем, является интегральным показателем их состояния. Почва отражает не только современный комплекс факторов почвообразования, но и их прошлое состояние [21]. Так, исследования А.П. Сапожникова с соавторами [19] свидетельствуют том, что в строении почвенного профиля даже по истечении 80 лет сохраняются следы пожаров, особенно в его биогенной части.

Накопленный к настоящему времени материал позволяет выделить вопрос о влиянии лесных пожаров на почвенно-растительный покров в самостоятельную проблему лесоводства и почвоведения – пирогенез лесных почв. Его изучение имеет теоретическое и практическое значение при разработке вопросов динамики послепожарной экологии и почвообразования [20]. Вопросам влияния пожаров на состояние и динамику почвенно-растительного покрова, специфики постпирогенного почвообразования посвящено значительное количество публикаций, касающихся исследований в пределах отдельных регионов Дальнего Востока [8–12, 19, 25]. Тем не менее пирогенная трансформация свойств почв изучена недостаточно, результаты исследований бывают противоречивы, возникает необходимость анализа данного явления в широком географическом аспекте [25].

В этой связи уместно сказать, что до настоящего времени не выявлены региональные особенности последствий пирогенеза почв прибрежно-островной зоны Японского моря, в частности постпирогенные изменения микроэлементного состава этих почв.

Известно, что прогрессирующее изменение природной среды в результате различных видов антропогенного воздействия приводит к загрязнению почвенного покрова тяжелыми металлами, что создает экологическую опасность [2]. Немаловажная роль в этом процессе принадлежит пожарам. Исследования Р.М. Коган и О.Ю. Паниной [10] показывают, что в результате лесных пожаров в почвах накапливаются токсичные вещества, отрицательно влияющие на развитие растительности и оказывающие значительный фитотоксический эффект.

В настоящей работе приводятся оригинальные данные исследований буроземов мыса Островной и сопредельной территории на юге-востоке Приморья, расширяющие представления о влиянии пожаров на экологическое состояние почв, в частности на содержание в них тяжелых металлов.

Объект и методы исследований

Исследования проводились в прибрежной части восточного макросклона южного Сихотэ-Алиня – на мысе Островной и сопредельной территории япономорского побережья, прилегающей к пос. Заповедный Лазовского района Приморья. Рельеф территории низкогорный с высотами от 100 до 300 м над ур. м. при крутизне склонов от 3 до 45°. Климат теплый, избыточно влажный. Он во многом определяется влиянием Японского моря, поэтому зима более мягкая, а лето несколько прохладнее, чем в континентальной части края. Специфической чертой климата рассматриваемого района является низкая влажность воздуха в весенне-осенний период, что обуславливает повышенную пожароопасность территории. Географическое местоположение района исследования предопределяет наиболее активное воздействие кислых атмосферных осадков, приносимых южными и юго-восточными ветрами с морской акватории, что создает оптимальные условия для внутрипрофильной дифференциации продуктов выветривания и почвообразования. Преобладающими типами растительности в районе исследований являются вторичные дубовые леса и их антропогенные производные, возникшие в результате рубок и пожаров [16].

Для выявления влияния пожаров на содержание тяжелых металлов и их внутрипрофильное распределение в почвах рассматриваемой территории были изучены буроземы на сопредельных участках: под дубовыми лесами и их антропогенными производными – разнотравно-кустарниковыми группировками и под гарью.

Буроземы, развитые под дубовыми лесами, формируются на хорошо дренируемых склонах и вершинах гор и имеют следующий набор генетических горизонтов: O–AY–BM1f,hi–BM2f,hi–BMC. Они характеризуются сравнительно небольшой мощностью как самого профиля (60–100 см), так и аккумулятивно-гумусового горизонта (8–16 см). Отличительной чертой этих буроземов является коричнево-бурая окраска иллювиально-гумусового горизонта (рис. 1).

Под антропогенными сукцессиями дубовых лесов формируются буроземы темные, существенно отличающиеся по морфологическому строению от вышеописанных. Для буроземов, развитых под разнотравно-кустарниковыми группировками, характерен профиль O–AU–BM1hi–BM2hi–BMC. Они выделяются большей мощностью аккумулятивно-гумусового (17–25 см) и иллювиально-гумусового (20–60 см) горизонтов, а также характерной для последнего темно-серой, серой окраской (рис. 2). Подобные почвы распространены не только в прибрежной части юго-восточного Приморья, но и в других районах прибрежно-островной зоны япономорского побережья [18].

На территории гари распространены буроземы темные пирогенные с профилем O_{rig}–AU_{pir}–BM_{hi,pir}–BMC. Характерными чертами профиля этих почв являются черная окраска горизонтов AU_{pir} (6–31 см), BM_{hi,pir} (31–51 см) и их повышенная гумусированность, что в определенной степени связано с наличием в них включений тонкодисперсных частичек древесного угля (рис. 3).

В ходе исследований использовали сравнительно-географический, профильно-генетический методы. Физико-химические анализы выполняли по общепринятым в почвоведении методикам. Определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов и марганца проводили методом атомно-адсорбционной спектроскопии в вытяжке после обработки почвы 5 М азотной кислотой¹. Содержание тяжелых металлов, извлекаемых таким образом, приравнивают, согласно нормативам в методических указаниях², к их валовому содержанию или, согласно [15], к «условно валовому», «ложноваловому». В качестве

¹ РД 52.18.191–89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом: Методические указания. М., 1990. 32 с.

² Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

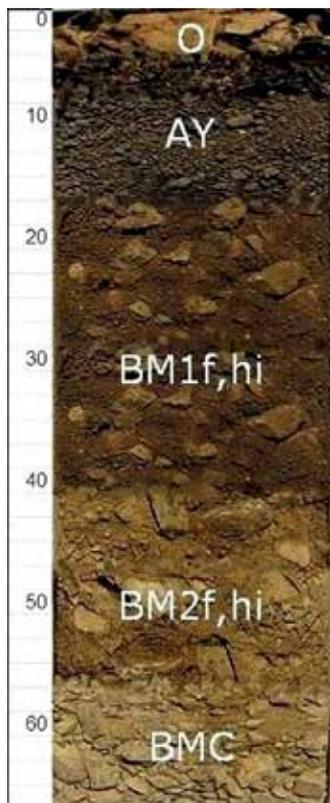


Рис. 1. Буросемы под дубовым лесом.

Разрез 5-04 заложен в 50 м от берегового обрыва к морю. Координаты: 42°83'50" с.ш., 133°69'69" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южного Сихотэ-Алиня; мезорельеф: привершинная часть юго-западного склона, крутизна 13°, микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: дубовый лес с примесью липы, березы, клена; кустарник редкий из лещины; травяной напочвенный покров (проективное покрытие до 30 %) включает осоку низенькую, папоротник орляк, калию ушастую.

O – подстилка; AY – серогумусовый горизонт; BM1f,hi и BM2f,hi – иллювиально-гумусовые горизонты с наличием гумусово-железистых пленок; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт

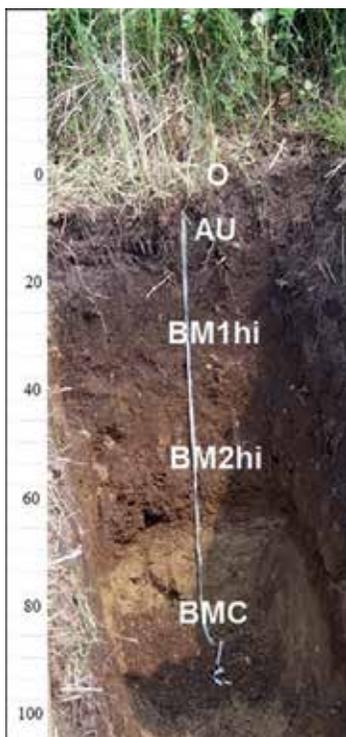


Рис. 2. Буросемы темные под разнотравно-кустарниковыми группировками.

Разрез 1-05 заложен на мысе Островной, в 20 м западнее берегового уступа. Координаты: 42°81'17" с.ш., 133°72'77" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южной части Сихотэ-Алиня; мезорельеф: склон южной экспозиции, крутизной 7°; микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: разнотравно-кустарниковая с порослью дуба; кустарниковый ярус представлен шиповником; травяной покров (проективное покрытие 100 %) включает полынь Кейске, мятлик, мискантус, подорожник, чертополох, лопух, ландыш.

O – подстилка; AU – темногумусовый горизонт; BM1hi и BM2hi – иллювиально-гумусовые горизонты; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт



Рис. 3. Буросемы темные пирогенные под гарью.

Разрез 13-04 заложен в 200 м восточнее берега моря. Координаты: 42°83'86" с.ш., 133°69'87" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южной части Сихотэ-Алинского хребта; мезорельеф: нижняя часть северо-западного склона, крутизной 14°; микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: гать с возобновлением древостоя из лещины и липы с примесью дуба, березы, клена, яблони (со следами неоднократного воздействия низовых пожаров); в напочвенном покрове (проективное покрытие 25–30 %) – осока, папоротник, ландыш, майник, полынь Кейске, мышинный горошек.

Opir – подстилка пирогенная; AUpir – темногумусовый пирогенный горизонт; BMhi,pir – иллювиально-гумусовый пирогенный горизонт; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт

фонового уровня в литературных источниках [6] используется региональный средний уровень, а при его отсутствии – кларк, или среднемировое содержание данного элемента в почве³. Нами при интерпретации полученных данных в качестве фонового содержания использовались откорректированные региональные величины кларков микроэлементов для почв Приморья [7], близкие к максимальным фоновым содержаниям кислоторастворимых форм тяжелых металлов в буроземах юга Сихотэ-Алиня [1].

Результаты и их интерпретация

Физико-химические показатели исследуемых буроземов (обменная и гидролитическая кислотность, гумусированность, степень насыщенности основаниями) обусловлены различиями в растительности [16] (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические свойства буроземов побережья юго-востока Приморья

Горизонт	Глубина, см	рН		Гумус по Тюрину, %	ГК*	Поглощенные катионы по Гедройцу*			V, %	C _{гк} / C _{фк}	R ₂ O ₃ по Тамму, %
		H ₂ O	KCl			H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
Буроземы под дубовым лесом, разрез 5-04											
AУ	6–14	6,0	3,9	14,08	22,75	8,14	9,48	6,58	66	0,78	1,59
BM1f,hi	15–25	5,1	4,0	6,12	21,00	7,41	2,66	0,72	31	0,53	2,36
BM2f,hi	40–50	5,3	4,0	2,03	16,63	6,95	0,52	1,47	22	0,32	1,02
BMC	75–85	5,3	3,9	1,81	17,94	8,02	0,57	3,78	35	0,44	1,84
Буроземы под разнотравно-кустарниковыми группировками, разрез 1-05											
AU	7–17	5,0	4,1	18,39	20,13	8,64	6,23	6,23	59	1,20	1,37
BM1hi	25–35	5,1	4,1	6,46	19,25	10,92	2,13	1,36	24	1,67	1,83
BM2hi	50–60	5,2	4,2	3,71	16,19	10,04	0,64	2,09	21	0,59	1,64
BMC	80–90	5,4	4,1	2,20	11,81	6,23	0,73	1,69	28	0,74	1,65
Буроземы гари, разрез 13-04											
AUpir	15–25	5,5	4,7	13,95	16,63	5,86	23,81	1,87	81	1,15	1,92
BMhi,pir	35–45	6,0	4,9	10,09	10,50	1,18	19,62	3,77	94	1,09	1,78
BMC	56–66	6,2	4,5	0,87	4,81	0,51	10,16	11,16	98	0,09	1,80

*Ммоль(экв)/100 г.

Примечание: ГК – гидролитическая кислотность. V – степень насыщенности основаниями. C_{гк} / C_{фк} – отношение содержания углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот.

Буроземы под дубовыми лесами характеризуются большими величинами обменной и гидролитической кислотности, меньшими гумусированностью и степенью насыщенности основаниями, большей подвижностью гумуса, чем буроземы разнотравно-кустарниковых группировок и гари. Буроземы гари, в отличие от буроземов дубового леса и разнотравно-кустарниковых группировок, выделяются значительно большим содержанием органического вещества в иллювиальной части профиля. Своеобразие морфологического облика буроземов различных биогеоценозов предопределяется существенными различиями в процессах гумусообразования. В буроземах дубовых лесов гумусообразование идет по

³ Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязнения промышленными выбросами / сост. И.Г. Важенин. М.: Почв. ин-т. им. В.В. Докучаева, 1987. 25 с.

гуматно-фульватному типу ($C_{гк} / C_{фк} = 0,78$), а в буроземах разнотравно-кустарниковых зарослей и гари – по фульватно-гуматному ($C_{гк} / C_{фк} = 1,20; 1,15$). В буроземах под дубовыми лесами максимальное осаждение агрессивной фракции фульвокислот в иллювиально-гумусовом горизонте совпадает с максимумом содержания оксалоторастворимых оксидов железа, что в определенной степени и обеспечивает их коричнево-бурую окраску. В буроземах под разнотравно-кустарниковыми группировками и гари в иллювиально-гумусовых горизонтах наряду с агрессивной фракцией фульвокислот осаждаются фракции гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием, которые и придают им темно-серые цвета окраски [16].

Проведенные исследования свидетельствуют как об определенном сходстве, так и о существенных различиях в содержании и внутрипрофильном распределении тяжелых металлов в почвах на участках с различной растительностью: дубовым лесом, разнотравно-кустарниковыми группировками и гарью (рис. 4).

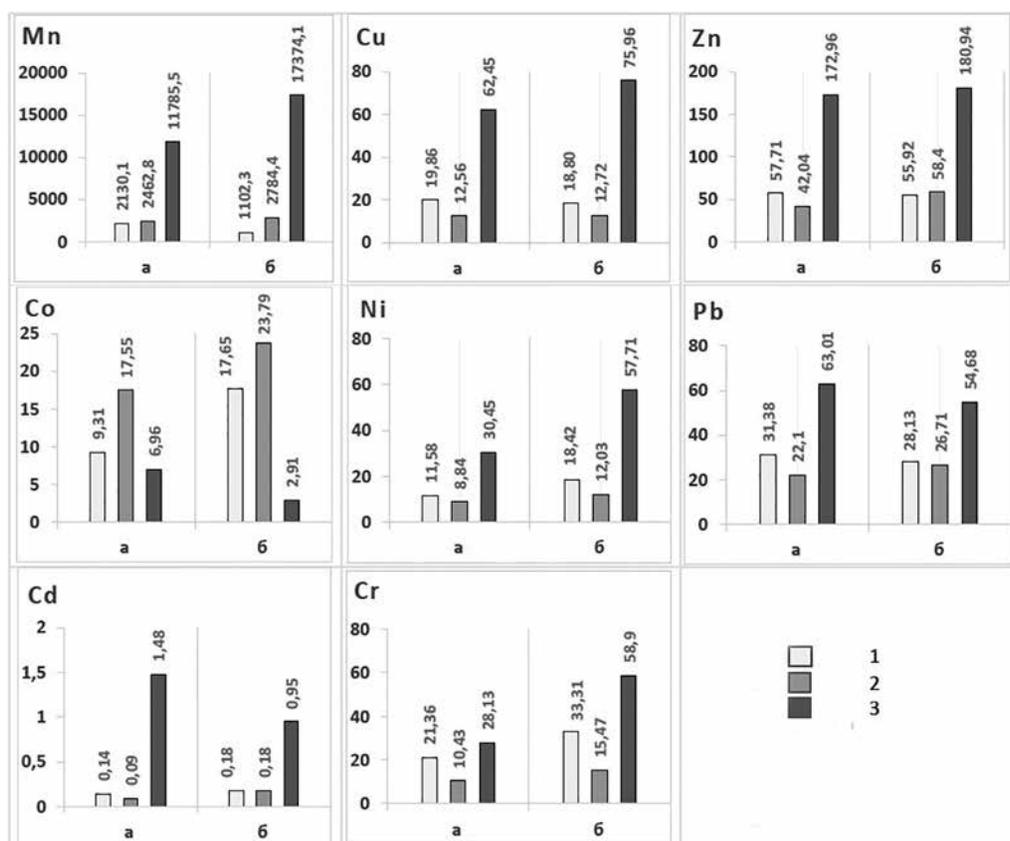


Рис. 4. Содержание (мг/кг) тяжелых металлов в аккумулятивно-гумусовых (а) и иллювиально-гумусовых (б) горизонтах буроземов мыса Островной и сопредельной территории японского побережья. 1 – дубовый лес, 2 – травяно-кустарниковые группировки, 3 – гарь

Содержание **марганца** в аккумулятивно-гумусовых горизонтах буроземов под дубовым лесом и под разнотравно-кустарниковыми группировками близко к фоновому. В буроземах на пирогенном участке оно в 5–8 раз больше и значительно превышает откорректированную величину кларка для почв Приморья [7] и максимальное фоновое содержание марганца для почв юга Сихотэ-Алиня [1]. Можно предположить, что отмеченные различия связаны с поступлением марганца с золой в почву на пирогенном участке, что, конечно, требует дополнительных исследований в этом направлении. Кроме того, не исключено

влияние на микроэлементный состав почв аккумуляции этого элемента за счет процессов биологического накопления [14].

Внутрипрофильное распределение марганца в буроземах сравниваемых участков имеет разный характер. Так, для буроземов под дубовым лесом характерен аккумулятивный тип распределения с максимумом содержания марганца в горизонте АУ и резким, почти вдвое, снижением его в иллювиальной части профиля. Напротив, под разнотравно-кустарниковыми группировками имеет место слабо выраженная элюво-иллювиальная дифференциация, а в буроземах гари она резко выражена. В последних содержание марганца в иллювиально-гумусовом горизонте выше в 1,5 раза, чем в гумусовом горизонте. Накопление марганца в иллювиальной части буроземов гари связано с повышенным содержанием в ней гумуса и пылевой фракции, способных к значительной аккумуляции этого элемента [3, 4, 27].

Итак, четко фиксируется значительное преобладание содержания марганца по всему профилю в буроземах на пирогенном участке. Ряд авторов [22] также отмечают специфическую особенность почв Дальневосточного региона, проявляющуюся в повышенном естественно-природном уровне отдельных элементов, в том числе марганца, по сравнению с почвами других регионов России.

Относительно содержания **меди** в профиле почв на рассматриваемой территории отмечены закономерности, сходные с вышеописанными: наименьшие показатели фиксируются на участке под разнотравно-кустарниковой растительностью, несколько большие – под дубовым лесом. При этом в пределах профилей этих буроземов оно практически не изменяется. Буроземы же пирогенного участка резко выделяются повышенным содержанием меди по всему профилю с элюво-иллювиальным характером ее внутрипрофильного распределения. Это обусловлено органомфильностью данного элемента, т.е. его основная доля связывается органическими соединениями [3, 4], что согласуется с результатами, полученными другими исследователями для почв юга Приморья [13, 23]. Немаловажная роль в фиксации меди принадлежит марганцу, активно связывающему ее катионы.

Распределение **цинка** по профилю буроземов под дубовым лесом близко к стабильному, а под разнотравно-кустарниковыми зарослями и на гари оно имеет элюво-иллювиальный характер. В буроземах на пирогенном участке содержание цинка превышает фоновое значение в 2,5 раза, что также может быть связано с его пирогенным поступлением. Кроме того, цинк активно адсорбируется органическими компонентами [27].

Содержание **кобальта** в буроземах под лесом меньше фонового уровня и имеет элюво-иллювиальное внутрипрофильное распределение. Под разнотравно-кустарниковой растительностью элюво-иллювиальный характер изменения количества кобальта по профилю сохраняется, но содержание его в гумусовом горизонте по сравнению с буроземами под лесом в 2 раза выше.

Прямо противоположное поведение данного элемента отмечается в буроземах гари, где, по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-кустарниковыми зарослями, фиксируется его низкое содержание в аккумулятивном горизонте АU_{rig} и особенно – в иллювиально-гумусовом горизонте ВMh₁_{rig}. Для выяснения причины данного факта предполагается проведение дополнительных исследований.

Внутрипрофильное распределение **никеля** имеет элюво-иллювиальный характер в буроземах всех рассматриваемых участков, но с четкими различиями количественных показателей между ними. В буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями содержание элемента наименьшее по сравнению с буроземами под лесом. В буроземах гари оно не превышает фонового уровня, но отличается значительно большими величинами и выраженным накоплением в иллювиальной части профиля. Содержание никеля в почвах обусловлено как его содержанием в материнских породах, так и его абсорбцией органическим веществом [27]. Не исключено в данном случае также пирогенное поступление с прогоревшей подстилкой и золой надземных частей растений.

Содержание **свинца** и его распределение в профиле почв под разной растительностью имеет определенные различия. Так, в буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями оно наименьшее, со слабовыраженной элюво-иллювиальной дифференциацией по профилю. В буроземах гари отмечаются высокое содержание свинца и четко выраженный аккумулятивный тип его внутрипрофильного распределения, что может быть связано с пирогенным фактором: данный элемент активно поглощается листьями растений из воздуха и с опадом поступает в почву [27]. Кроме того, свинец проявляет сродство с глинистыми минералами, органическими комплексами и обнаруживает, как указывает Ю.Н. Водяницкий [4], положительную корреляционную связь с марганцем.

Наименьшее содержание **кадмия**, с выраженным элюво-иллювиальным внутрипрофильным распределением, характерно для буроземов под разнотравно-кустарниковыми зарослями. Близкие значения и аналогичный характер профильного распределения кадмия отмечаются и для буроземов под лесом. В буроземах гари содержание кадмия хотя и остается ниже фонового показателя, но значительно превосходит его в других буроземах. Определяющим фактором содержания кадмия в почвах является химический состав почвообразующих пород [27]. Накопление данного элемента в поверхностном горизонте буроземов гари, вероятно, связано с его дополнительным поступлением в результате пожаров.

Для всех рассматриваемых участков характерна элюво-иллювиальная внутрипрофильная дифференциация содержания **хрома**. Наименьшее его количество обнаружено в буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями. В буроземах под лесом оно увеличивается вдвое, а в буроземах гари фиксируется его максимум, особенно в высокогумусированной иллювиальной части профиля, где он активно взаимодействует с органическими комплексами [27].

Для выяснения степени загрязнения тяжелыми металлами почв нами подсчитаны показатели эколого-геохимического состояния – коэффициенты концентрации элементов (Кс) по отношению к фоновым значениям (откорректированным региональным кларкам [7]) и суммарный показатель загрязнения Саета (Zc)⁴ (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (Zc) буроземов побережья юго-востока Приморья

Горизонт	Глубина, см	Кс									Zc
		Pb (1)	Zn (1)	Cd (1)	Ni (2)	Cr (2)	Co (2)	Cu (2)	Mn (3)	S	
Буроземы под дубовым лесом, разрез 5-04											
AУ	6–14	0,98	0,82	0,23	0,25	0,32	0,42	0,99	1,41	5,42	-1,58
BM1f,hi	15–25	0,88	0,80	0,30	0,40	0,50	0,80	0,94	0,73	5,35	-1,65
Буроземы под разнотравно-кустарниковыми группировками, разрез 1-05											
AУ	7–17	0,69	0,60	0,15	0,19	0,16	0,80	0,63	1,63	4,85	-2,15
BM1hi	25–35	0,83	0,83	0,30	0,26	0,23	1,08	0,64	1,84	6,01	-0,99
Буроземы гари, разрез 13-04											
AУpir	15–25	1,97	2,47	2,47	0,66	0,43	0,32	3,13	7,80	19,25	12,55
BMhi,pir	35–45	1,71	2,58	1,58	1,25	0,89	0,13	3,80	11,51	23,45	16,45

Примечание. В скобках указан класс опасности металла.

В буроземах гари фиксируются более высокие коэффициенты концентрации свинца, цинка, кадмия, меди и марганца по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-

⁴ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17.04.2003 № 53 (ред. от 25.04.2007) «О введении в действие СанПиН 2.1.7.1287-03» (вместе с «СанПиН 2.1.7.1287-03. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 05.05.2003 № 4500).

кустарниковыми группировками. Среди рассматриваемых элементов свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю в иллювиально-гумусовые горизонты.

Подсчет суммарного показателя загрязнения (Z_c) показал, что в буроземах гари фиксируется допустимый (низкий) уровень загрязнения в поверхностном аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный – в иллювиальной части профиля.

Если следовать рекомендациям [5] и учитывать только накапливающиеся элементы с критическим коэффициентом (K_k) $>1,5$ или >2 , то значения суммарного показателя загрязнения буроземов гари остаются в тех же градациях – допустимый (низкий) уровень загрязнения (13,84) в аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный (17,18) в иллювиальной части профиля. Однако применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (K_t), равного 1,5 для 1 класса опасности, 1,0 для 2 класса, 0,5 для 3 класса [5], при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает в 1,5 раза значения K_c элементов, относящихся к 1 классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения территории гари, в данном случае следует обращать особое внимание на то, какими именно тяжелыми металлами они обеспечиваются, в первую очередь на элементы-загрязнители 1 класса опасности.

В буроземах под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками суммарный показатель загрязнения имеет отрицательные значения, что свидетельствует об отсутствии загрязнения территорий, сопредельных гари.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют как о сходстве, так и о различиях в содержании и внутрипрофильном распределении тяжелых металлов в почвах на участках, занятых дубовым лесом, разнотравно-кустарниковыми группировками и гарью.

По сравнению с сопредельными участками под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками, в буроземах гари фиксируется увеличение содержания рассматриваемых тяжелых металлов, что, по всей вероятности, связано с дополнительным их поступлением с золой. Здесь определены более высокие коэффициенты концентрации свинца, цинка, кадмия, меди и марганца. Свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю, накапливаясь в иллювиально-гумусовых горизонтах.

Значения суммарного показателя загрязнения в буроземах гари соответствуют допустимому (низкому) уровню в аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасному – в иллювиальной части профиля.

Применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (K_t) при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает K_c элементов, относящихся к 1 классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения территории гари, в данном случае следует обращать особое внимание на класс опасности элементов-загрязнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.Н., Семаль В.А., Нестерова О.В. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах юга Сихотэ-Алиня // Материалы II междунар. науч. конф. «Современные исследования в естественных науках», Владивосток, 26–28 августа 2015 г. / под общ. ред. В.А. Семаль. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2015. С. 43–45. [CD-ROM].

2. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.
3. Водяницкий Ю.Н. Минералогия и геохимия марганца (обзор литературы) // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1256–1265.
4. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432.
5. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.
6. Волгин Д.А. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Серия: Естественные науки. 2009. № 3. С. 90–96.
7. Голов В.И., Тимофеев А.Н. Экологические и агрохимические основы производства и применения минеральных удобрений из местного агросырья на почвах Дальнего Востока // Вестн. ТГУ. 2006. № 3. С. 110–124.
8. Жарикова Е.А. Влияние пожаров на свойства подзолов восточного побережья северного Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 5. С. 9–14.
9. Жарикова Е.А. Постпирогенная трансформация почв в лесах Нижнего Приамурья // Вестн. Алтайского гос. аграр. ун-та. 2015. № 8. С. 57–61.
10. Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияния пожаров на фитотоксичность почв (на примере широколиственных лесов Еврейской автономной области) // Вестн. ДВГСГА. Естественнонаучные знания. 2010. № 2. С. 41–50.
11. Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в южном Прибайкалье // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1057–1067.
12. Мишина Н.В. Современная динамика лесных пожаров на приграничных территориях России, Китая и Монголии // Успехи соврем. естествознания. 2018. № 3. С. 140–147.
13. Молчанова И.В., Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н., Журавлев Ю.Н., Тимофеева Я.О., Бурдуковский М.Л. Техногенное загрязнение почвенно-растительного покрова юга Приморского края // Экология. 2013. № 5. С. 334–338.
14. Московченко Д.В. Геохимические особенности ландшафтов бассейна р. Казым // Вопр. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 12. С. 124–129.
15. Нестерова О.В., Трегубова В.Г., Семаль В.А. Использование нормативных документов для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1375–1380.
16. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Влияние растительности на гумусообразование и морфологическое строение приокеанических буроземов юго-восточной части Приморья // Почвоведение. 2015. № 4. С. 387–396.
17. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Генезис и эволюция приокеанических буроземов. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2002. 292 с.
18. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Специфика формирования буроземов на островах залива Петра Великого (юг Дальнего Востока) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 5. С. 87–96.
19. Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Лесн. вестн. 2001. № 1. С. 132–165.
20. Сапожников А.П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
21. Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: ЛКИ, 2008. С. 24–57.
22. Тимофеева Я.О., Костенков Н.М., Голов В.И., Голодная О.М., Жарикова Е.А., Пуртова Л.Н., Семаль В.А., Нестерова О.В., Журавлев Ю.Н. Почвенные ресурсы Дальневосточного региона: современное состояние, использование, технологии восстановления // Материалы II Междунар. науч. конф. «Современные исследования в естественных науках», Владивосток, 26–28 августа 2015 г. / под общ. ред. В.А. Семаль. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2015. С. 36–39. [CD-ROM].
23. Тимофеева Я.О. Тяжелые металлы в почвах, прилегающих к автотрассе // Фундам. исслед. 2013. № 10, ч. 10. С. 2226–2230.
24. Христофорова Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье. Хабаровск: Кн. изд-во, 2005. 304 с.
25. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
26. Шейнгауз А.С. Природопользование российского Дальнего Востока и Северо-Восточная Азия. Хабаровск: Риотип, 1997. 224 с.
27. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRS Press, 2011. 505 p.

Н.С. ШИХОВА

Анализ функциональной эффективности зеленых насаждений в структуре городского озеленения Владивостока

Обобщены результаты многолетнего мониторинга зеленых насаждений Владивостока. Были обследованы растительность и почвы всех городских парков, большинства скверов, старых садов-скверов, аллеиных и рядовых посадок, 34 насаждений внутриквартального озеленения в разных районах города, 6 внутригородских рекреационных лесов. Дана качественная и количественная характеристика зеленых насаждений и озелененных городских территорий различного функционального назначения по комплексу эколого-биологических показателей. Сравниваются видовой состав арборифлоры, виталитет древостоя, качество почвенного покрова, интенсивность накопления тяжелых металлов почвами и растениями, а также напряженность антропогенно-техногенного пресса. Основной целью работы являлись системный анализ состояния зеленых насаждений и методическое обоснование интегральной оценки их функциональной значимости в системе городского озеленения. Была разработана оригинальная методика, в основу которой положен введенный автором сводный показатель – индекс функционального статуса насаждений. На его основе выполнена сравнительная оценка функциональной эффективности городских зеленых насаждений разного назначения. Установлен высокий функциональный статус рядовых посадок и скверов, обусловленный преимущественно активной трансформацией почвами и растениями тяжелых металлов. В 1,5 раза ниже этот показатель для внутригородских рекреационных лесов как следствие их бедного видового состава и низкого жизненного состояния древостоя, а также слабого накопления тяжелых металлов почвами и растениями. Результаты исследований могут служить научно-методической базой при разработке устойчивой структуры городского озеленения и организации рациональной системы мониторинга урбоэкосистем.

Ключевые слова: городское озеленение, типы зеленых насаждений, городская экология, антропогенно-техногенные нагрузки, тяжелые металлы, функциональная эффективность насаждений, квалиметрия.

The analysis of functional significance of the urban plantings in Vladivostok landscape structure.
N.S. SHIKHOVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

The article compiles the results of long-term monitoring of green plantings in Vladivostok city. The vegetation and soils of all city parks, most of squares, old gardens, alleys and ordinary plantings, 34 intra-quarter plantings in different parts of the city, 6 urban recreational forests were examined. The qualitative and quantitative characteristics of greenery and urban green areas of various functional purposes are given for a set of ecological and biological indicators. The species composition of arboriflora, the vitality of the stand, the quality of the soil cover, the intensity of accumulation of heavy metals by soils and plants, and the intensity of the anthropogenic-technogenic press are compared. The main purpose of the work was a systematic analysis of the state of green spaces and a methodological substantiation of the integral assessment of their functional significance in the urban greening system. An original methods was developed based on the summary indicator introduced by the author – the “functional status index (IFS) of plantings”. A comparative assessment of the functional effectiveness of urban plantings of various town planning function has been made on the basis of such index. The increased functional status of ordinary plantings and squares, caused mainly by the active transformation of heavy metals by soils and plants, was installed. This index is 1.5 times lower for intra-urban recreational forests and was the result of a few species composition, low vitality of woody species and poor

ШИХОВА Нина Сергеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток).
E-mail: shikhova@biosoil.ru

accumulation of heavy metals by soils and plants. The results of this research may serve as a scientific-methodological basis to creation of stability town plantings structure and organize the rational monitoring system of urban ecosystems.

Key words: urban landscaping, types of green planting, urban ecology, anthropogenic load, heavy metals, functional efficiency of urban plantings, qualimetry.

Введение

Урбанизация порождает множество экологических и социальных проблем, требующих решений комплексного характера и, как правило, больших капиталовложений. Одним из наиболее действенных и экономически выгодных путей оптимизации городской среды является создание структуры озеленения, эффективность которой определяется средостабилизирующей ролью растений и их способностью к аккумуляции загрязняющих веществ и ремедиации. Важным для городских растений и насаждений является выполнение, помимо санитарно-экологической, также эстетической функции, которая предполагает их высокий бонитет и хороший жизненный статус. Однако далеко не все виды и сообщества растений способны выдерживать повышенные антропогенно-техногенные нагрузки, присущие городским экосистемам, кроме того, зеленые насаждения как часть градостроительной структуры и экологического каркаса города должны в полной мере соответствовать потребностям различающихся по функциональному назначению внутригородских территорий. В связи с этим очень важными научными и практическими задачами ученых и ландшафтных архитекторов являются разработка рациональной системы зеленых насаждений в городе и создание научно обоснованного ассортиментного списка видов и сообществ растений, способных обеспечить комфортные условия проживания населения при устойчивом развитии городской инфраструктуры.

Цель настоящих исследований – обобщающий анализ результатов мониторинга зеленых насаждений Владивостока и разработка методики интегральной оценки эколого-биологического состояния типовых объектов городского зеленого строительства различного функционального назначения.

Район исследований

Современный Владивосток – это крупный административный и промышленный центр Приморья и Дальнего Востока. Его площадь составляет около 56 тыс. га, численность населения – свыше 633 тыс. человек. Площадь зеленых насаждений общего пользования Владивостокского городского округа, куда входят и прилегающие островные территории, насчитывает 2410 га.

Планомерное озеленение Владивостока началось в 40-х годах XX в., когда были организованы новые парки, скверы и частично реконструированы старые, дореволюционные, городские посадки. В последующем были выполнены еще два этапа массовых озеленительных работ – в 50–60-е и 70–80-е годы, которые в основном и сформировали облик и основную композиционную структуру зеленых насаждений сегодняшнего Владивостока. Экологическая и политическая ситуация конца прошлого и начала нынешнего столетия негативно сказалась на решении актуальных проблем городского зеленого строительства: существенно сократилась площадь городских насаждений, ухудшился их эстетический вид и резко снизилось эколого-физиологическое состояние древесно-кустарниковых пород. Последнему особенно способствовал автомобильный бум конца 90-х годов, когда количество автомобилей на городских улицах увеличилось в 1,5–2 раза. К счастью, ситуация с городским озеленением начала изменяться к лучшему в связи с подготовкой к саммиту АТЭС, который прошел во Владивостоке в 2012 г. Была принята целевая программа «Сохранение и развитие зеленых насаждений города Владивостока на 2011–2015 годы»*, на

* <http://old.vlc.ru/docs/npa/36585/>

реализацию которой выделены значительные денежные средства. В ходе ее осуществления был облагорожен «гостевой маршрут», проведена реконструкция многих скверов и магистральных посадок, создан ряд новых зеленых насаждений.

Первый системный анализ объектов городского озеленения Владивостока был выполнен в начале 80-х годов прошлого столетия сотрудниками Ботанического сада ДВО АН СССР. Был, в частности, проанализирован видовой состав городских насаждений и предложен широкий список видов для внедрения в зеленое строительство [6]. По прошествии около 10 лет, уже сотрудниками лаборатории экологии и биологии леса БПИ ДВО РАН, были начаты экологические исследования зеленых насаждений Владивостока. Они преобразовались со временем в организованный нами комплексный экологический мониторинг озелененных территорий селитебной зоны г. Владивосток, продолжающийся по настоящее время. Наиболее массовые наблюдения относятся к 1995–2005 гг. По их результатам установлены флористический состав и количественное участие видов в структуре городского озеленения, проведена диагностика жизненного и возрастного состояния деревьев и кустарников, изучены особенности их роста и развития в условиях урбанизации [10, 13, 15]. Были также определены основные лесорастительные свойства городских почв, приоритетные металлы-загрязнители почв и растений озелененных территорий Владивостока [12, 14, 16].

Материалы и методы

Основным объектом исследования служила растительность городских озелененных территорий разного функционального назначения – парков, садов, скверов, рядовых насаждений и внутриквартального озеленения, традиционно выделяемых в зеленом строительстве [4, 5]. Изыскательские работы выполнялись на 137 пробных площадях (пп), предназначенных для проведения многолетнего мониторинга состояния городских зеленых насаждений Владивостока. Была обследована растительность 3 городских парков, 16 типичных скверов, 8 старых садов-скверов, 34 насаждений внутриквартального озеленения, 44 рядовых насаждений улиц, включая посадки вдоль основных транспортных магистралей города. Старые сады-скверы, в отличие от типичных скверов, сформированы древесными растениями, частично сохранившимися от насаждений, заложенных в конце XIX в., а также высаженными в процессе ряда последующих реконструкций. Кроме того, были дополнительно выделены и обследованы 6 городских озелененных территорий, типизированных нами как внутригородские рекреационные леса (ВРЛ). Они представляют собою небольшие по площади «островные» участки сохранившихся по окраинам селитебной зоны природных лесов, основные массивы которых в настоящее время освоены под строительство. Выполненные работы позволили охватить исследованиями растительность всех городских парков, большинства скверов, старых садов-скверов, аллейных и рядовых посадок вдоль и вблизи основных транспортных магистралей города и в разной степени детальности – внутриквартальное озеленение практически всех жилых микрорайонов города. Следует заметить, что комплекс озелененных городских территорий, сформированный в связи с их различным функциональным назначением, являет собой для растений широкий экологический спектр местообитаний.

На каждой пробной площадке выполнялись комплексные эколого-биологические исследования в соответствии с методикой, разработанной нами для многокомпонентной (интегральной) оценки состояния растительности и почв в условиях антропогенно-техногенного пресса [9, 10]. Она включает: изучение флористического состава растительности, возрастного и жизненного состояния и габитуса деревьев и кустарников; учет видового состава и фитомассы травостоя; исследование физико-химических свойств почв; отбор проб растений и почв для последующего химического анализа; оценку антропогенно-техногенных нагрузок.

Жизненное и возрастное состояние видов и насаждений оценивалось визуальным методом, детально изложенным в монографии [10]. Пригодность почвенных условий к выращиванию на них древесно-кустарниковых насаждений определялась по сумме физико-химических параметров, включая кислотность, плотность сложения, воздухосодержание, естественную влажность и задерненность почвы [12, 16].

Интенсивность антропогенно-техногенных нагрузок, действующих на озелененные территории, оценивалась по густоте дорожно-тропиночной сети (процент встречаемости троп при пошаговом учете), степени задерненности и захламленности почвы (глазомерно, в процентах), количеству пешеходов и единиц транспорта (за 1 ч), перемещающихся по пробной площади или в непосредственной близости от нее. Учет автотранспортного и пешеходного потока выполнен в середине дня. Все полученные фактические данные были переведены в относительные балльные единицы, за 1 балл принимали средние для городских озелененных территорий показатели [16].

Для эколого-геохимического анализа в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев) отбирали ассимиляционные органы растений – листья и хвою деревьев и кустарников и надземную (укусную) массу трав для оценки ежегодного накопления химических элементов. Параллельно с растительным материалом отбирали смешанную (из 10 точек) пробу поверхностного горизонта почв (0–20 см). На содержание тяжелых металлов были взяты образцы листьев (хвои) 81 вида деревянистых растений (48 – деревья, 32 – кустарники, 1 – деревянистая лиана), что составляет 70 % общего установленного состава городской арборифлоры. В итоге было проанализировано около 1 тыс. фитопроб и 130 почвенных образцов, представляющих собой репрезентативный фактический материал для последующих научных исследований и обобщений.

Химический анализ проб выполнен в сертифицированных лабораториях ДВГИ и ТИГ ДВО РАН методом атомной абсорбционной спектроскопии (ААС) на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в кислотных вытяжках золы растений (после сухого озоления и растворения в 20%-й HCl) и сухого остатка почв, полученного методом разложения в смеси плавиковой и соляной кислот. Концентрацию металлов в растениях и почвах выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества.

Техногенное влияние урбанизированной среды на растительность и интенсивность загрязнения основного видового состава городских зеленых насаждений тяжелыми металлами оценивались с помощью коэффициента концентрации (Кк) загрязняющих веществ. Он рассчитан как отношение содержания металлов в растениях антропогенно-преобразованной среды к локально-фоновым уровням. В качестве локального экологического фона (ЛЭФ) выборочно были обследованы также природные насаждения лесопарковой зоны Владивостока (30 пп) – преимущественно вторичные дубовые леса из дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), наиболее распространенные на лесной территории п-ова Муравьев-Амурский [11].

Расчет общего накопления основных металлов-загрязнителей городской растительности и почв выполнен с использованием суммарного показателя загрязнения (Zc): $Zc = (\sum Kk) - (n - 1)$, где Kk – коэффициенты концентрации >1 , n – число накапливаемых элементов [7]. При расчете суммарного накопления учитывались лишь те металлы, у которых $Kk \geq 1,2$.

Для сравнительной количественной оценки интенсивности накопления металлов почвами и растениями рассматриваемых типов насаждений использовался коэффициент относительной интенсивности накопления металлов – ОИН. Он представляет собой отношение содержания металла в том или ином объекте исследований к его среднему содержанию в выборке.

Интенсивность накопления металлов почвами оценивалась по величине коэффициента биологического накопления (КБН), который показывает, во сколько раз содержание химического элемента в растении выше или ниже его содержания в почве.

Статистическая обработка аналитических данных осуществлена с использованием стандартных программ Microsoft Excel и Statistica 13.3.

Результаты исследований

Выполненные нами ранее мониторинговые наблюдения позволили установить, что урбофитоценозы Владивостока формируются 115 видами деревьев и кустарников (аборигенные, интродуцированные и культурные сортовые растения). Доля аллохтонных видов в городском озеленении составляет 28,7 % [10]. Наибольшее видовое разнообразие установлено для внутриквартального озеленения – 93 вида, что составляет 81 % от общего состава городской арборифлоры. Более чем в 2 раза беднее состав древесно-кустарниковых видов во внутригородских лесах – 40 видов, или 35 % их общего списка. Интересно отметить, что во внутриквартальном озеленении доминируют редко встречающиеся виды (59 % состава; абсолютная встречаемость на пробных площадях менее 5 %) и средне-насыщенные насаждения, образованные преимущественно 9 видами (30 % насаждений). В противоположность этому во ВРЛ преобладают виды широкого в городе распространения (35 % состава, абсолютная встречаемость более 25 %), и более половины их насаждений характеризуются большим видовым разнообразием (свыше 10 видов в насаждении). Повсеместное распространение в городских насаждениях, но с разным участием, имеют 19 видов. Это в основном древесные породы-доминанты и эдификаторы зональных типов леса: ясени маньчжурский и носолистный (*Fraxinus mandshurica* Rupr., *F. rhynchophylla* Hance), липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), ильм японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr), клен моно (*Acer mono* Maxim.) и др. Большинство из этих деревьев, хотя и встречаются во всех типах насаждений, но преимущественно формируют уличные рядовые и аллеи насаждения. Повсеместно же распространены красивоцветущие кустарники – лигустрина (*Ligustrina amurensis* Rupr.), чубушник (*Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim.) и свидина (*Swida alba* (L.) Opiz), максимально представленные во внутриквартальном озеленении. Невысоким видовым разнообразием характеризуются и самые значимые городские объекты озеленения – парки: в них произрастает 73 вида деревьев и кустарников, или 63,5 % общего состава городской дендрофлоры.

Наиболее близкий видовой состав установлен для рядовых насаждений, внутриквартального озеленения и скверов, которые представляют собою типичные искусственные городские посадки. Достаточно близки по видовому составу также парки и ВРЛ, растительность которых сформирована на основе природных лесных фитоценозов.

Городские насаждения в порядке убывания видового разнообразия располагаются следующим образом: внутриквартальное озеленение (93 вида) → рядовые насаждения улиц (84) → скверы (74) → парки (73) → старые сады-скверы (51) → внутригородские рекреационные леса (40 видов). Из приведенных данных следует, что видовое разнообразие от внутриквартальных посадок до ВРЛ снижается более чем вдвое.

Древесные и кустарниковые виды проявляют неодинаковую устойчивость к комплексному воздействию факторов городской среды, что нашло отражение в существенном размахе варьирования показателя их жизненного состояния: от 23 до 70 % у деревьев и от 33 до 100 % у кустарников [10]. Установлено, что отрицательное влияние городской среды в той или иной мере испытывают все городские популяции древесных видов, о чем свидетельствует отсутствие у них категории здоровых растений. Согласно полученным данным, проанализированные древесные породы (58 видов) относятся к двум категориям жизненного состояния (КС), отражающим разную степень ослабленности растений: 71 % – III КС (сильно поврежденные, сильно ослабленные) и 29 % – II КС (слабо поврежденные, умеренно ослабленные). У кустарников размах варьирования жизненного состояния почти в полтора раза больше по сравнению с древесными породами, а виталитет растений

несколько выше. У них (57 видов) зафиксировано три категории жизненного состояния: здоровые (I КС), умеренно (II КС) и сильно (III КС) ослабленные – 5, 60 и 35 % видового состава соответственно.

Сравнительный анализ жизнеспособности древесных пород с различной степенью встречаемости в городских посадках показал, что редко встречаемым видам, как правило, свойствен высокий статус жизненности, в то время как у пород с умеренной и частой встречаемостью наблюдается во многих случаях сильное повреждение. Это, на наш взгляд, объясняется тем, что редкие в городе древесные породы произрастают преимущественно во внутриквартальном озеленении и парках, где условия для роста растений относительно благоприятные. К тому же в их составе много интродуцентов, для которых нет специализированных вредителей и болезней как в районах происхождения. Среди кустарников здоровые виды и насаждения присутствуют лишь в насаждениях улиц и старых садов, причем в последних весьма значимо – 27 % видового состава. Слабо поврежденные виды доминируют в насаждениях улиц, скверов и парков. Более чем на половину состава образованы ими также ВРЛ и внутриквартальное озеленение. Для сравнения заметим, что в условиях ЛЭФ (природные фитоценозы) виды, представленные слабо поврежденными растениями, составляют абсолютное большинство – 89 % состава.

Интересно также, что рассчитанные средние арифметические показатели виталитета для сравниваемых типов насаждений наиболее стабильны по сравнению с остальными параметрами, используемыми при расчете индекса функционального статуса (ИФС) насаждений. Жизненное состояние насаждений незначительно снижается (примерно в 1,4 раза) от умеренно до сильно ослабленного в ряду: скверы (индекс состояния = 54,0 %) → внутриквартальное озеленение (50,2) → парки (46,6) → сады-скверы (46,0) → рядовые насаждения улиц (43,1) → ВРЛ (39,5 %).

Относительные значения показателей антропогенно-техногенных нагрузок, испытываемых городскими озелененными территориями, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о 4-кратном возрастании экологической напряженности и рекреационного пресса на зеленые насаждения и почву в следующем прогрессирующем ряду: городские парки → внутриквартальное озеленение → внутригородские рекреационные леса → сады-скверы → рядовые насаждения → скверы. Наибольший вклад в суммарную величину нагрузок на наиболее «напряженных» озелененных территориях вносят автотранспортный и пешеходный потоки. Негативное влияние рекреационных нагрузок сильнее выражено в рядовых насаждениях, скверах и ВРЛ, а захламленность территории – в парках и старых садах.

Таблица 1

Сравнительная балльная оценка антропогенно-техногенных нагрузок для разных типов озелененных городских территорий Владивостока

Тип насаждений	Пешеходный поток	Транспортный поток	Густота дорожно-тропиночной сети	Обнаженность почвы	Захламленность территории	Сумма нагрузок
Скверы	5,2	6,0	1,3	1,0	0,7	14,2
Рядовые насаждения	3,3	4,8	1,2	1,2	0,9	11,3
Старые сады-скверы	4,2	1,1	1,1	1,0	1,3	8,8
ВРЛ	0,2	0,3	1,0	1,3	1,0	3,8
Внутриквартальное озеленение	0,6	0,3	0,9	1,2	0,8	3,7
Городские парки	0,4	0,0	1,0	0,8	1,3	3,6
В среднем по городу	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0

Полученные в работе данные вполне совпадают с результатами выполненных нами ранее исследований по физико-химическим особенностям почв озелененных территорий Владивостока [12]. Ими, в частности, установлено негативное влияние процессов

урбанизации на физические свойства почв – преимущественно на плотность сложения и аэрацию. Наиболее значимые последствия проявились в уплотнении поверхностных горизонтов почв, превышающем фоновые показатели в среднем в 1,4 раза. Проведенные исследования констатировали существенное ухудшение (более чем в 2,5 раза) лесорастительных свойств почв озелененных городских территорий в ряду: городские парки → ВРЛ → старые сады → скверы → внутриквартальное озеленение → рядовые насаждения.

Негативное воздействие процессов урбанизации на городскую растительность наиболее ярко отражается в накоплении растениями тяжелых металлов – объективных маркеров техногенного загрязнения среды (табл. 2, 3).

Таблица 2

Среднее содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) в листьях древесно-кустарниковых растений типовой структуры городского озеленения Владивостока

Тип насаждений	Число видов/проб	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые	45/198	12,52	2,95	1,39	0,84	67,86	9,74	125	849
Внутриквартальное озеленение	37/136	11,49	2,76	1,48	0,88	64,05	8,30	121	566
Скверы	47/121	15,37	2,86	1,44	0,92	75,10	9,41	151	709
Старые сады-скверы	18/26	10,68	1,97	1,50	0,71	40,00	8,59	67	425
Городские парки	31/66	8,30	2,05	1,41	1,02	58,45	7,53	125	387
ВРЛ	36/56	5,94	2,28	0,89	0,80	38,94	7,70	120	338
В целом	81/603	11,45	2,61	1,37	0,95	64,02	8,56	137	565
ЛЭФ [11]	78/294	6,08	2,07	1,42	0,91	30,40	6,20	149	138

Таблица 3

Среднее содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) в укосном травостое типовой структуры городского озеленения Владивостока

Тип насаждений	Число проб	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Рядовые	26	8,30	2,95	1,35	0,48	56,11	7,95	52,4	499
Внутриквартальное озеленение	26	8,44	2,67	1,51	0,46	62,49	7,21	54,1	487
Скверы	12	12,37	2,74	1,65	0,55	96,34	8,37	60,4	518
Старые сады-скверы	10	9,25	3,22	1,54	0,78	62,81	8,51	55,9	556
Городские парки	15	13,36	3,35	1,26	0,65	56,66	8,87	74,7	782
ВРЛ	4	9,31	3,53	1,03	0,64	45,01	8,78	77,7	520
В целом	93	9,66	2,96	1,43	0,54	62,16	8,04	59,0	538
ЛЭФ [11]	14	6,13	3,19	1,04	1,03	36,01	6,37	101,9	208

Арборифлора типичных искусственных городских насаждений Владивостока, т.е. рядовых посадок, скверов и внутриквартального озеленения, отличается максимальными содержаниями Fe, Zn и Ni. Для растений рядовых посадок и скверов характерно, кроме того, высокое содержание Pb и Cu. Низкие содержания большинства металлов (за исключением Mn) установлены в растениях внутригородских рекреационных лесов и парков. Анализ рассчитанных значений ОИН металлов показал повышенную (в 1,3–1,5 раза) относительно городских фоновых содержаний аккумуляцию листьями древесно-кустарниковых растений Fe и Zn в рядовых посадках, а также Pb, Mn и Fe в скверах. Травянистые же растения отличаются более высокой концентрацией Zn в скверах, Cd – в садах, Fe и Pb – в парках, Mn – во внутригородских рекреационных лесах.

На основе показателя коэффициента концентрации (Кк) металлов, количественно характеризующего интенсивность накопления тяжелых металлов относительно ЛЭФ, были

установлены ассоциации основных металлов-загрязнителей зеленых насаждений Владивостока: $\{Fe_{4,1} Zn_{2,1} Pb_{1,9} Cu_{1,4} Ni_{1,3}\}$ – для древесно-кустарниковых видов и $\{Fe_{2,6} Zn_{1,8} Pb_{1,6} Co_{1,4} Cu_{1,3}\}$ – для травостоя. Их суммарное накопление (Zc) в среднем по городским насаждениям составляет для древесно-кустарниковых растений 6,7 относительных единиц, для травянистых – почти в 1,5 раза ниже, т.е. 4,6 отн. ед. Это объясняется в основном разным периодом накопления химических элементов: травостой во многих насаждениях (особенно в типичных городских посадках) периодически выкашивается, а листья деревьев и кустарников накапливают элементы в течение всего вегетационного сезона. Как показали наши исследования, накопление металлов-загрязнителей зависит также от местообитаний растений в урбанизированной среде. Оно возрастает у древесно-кустарниковых насаждений в 3 раза в ряду: ВРЛ ($Zc = 3,0$) → парки (4,2) → сады-скверы (4,4) → внутриквартальное озеленение (6,6) → скверы (8,9) → рядовые насаждения (9,3). У травянистых растений предельные значения Zc менее контрастны (1,7 раза), а насаждения в зависимости от интенсивности накопления металлов образуют следующий ранжированный ряд: ВРЛ ($Zc = 3,2$) → рядовые насаждения (3,4) → внутриквартальное озеленение (3,5) → сады-скверы (4,2) → скверы (5,4) → парки (5,5).

Для почв, судя по полученным ранее данным [16], накопление приоритетных металлов-загрязнителей среды также возрастает в 3,4 раза от парковых растительных сообществ к рядовым насаждениям: парки ($Zc = 4,0$) → сады-скверы (6,0) → ВРЛ (6,2) → скверы (8,2) → внутриквартальное озеленение (10,1) → рядовые насаждения (13,4).

Важным показателем миграции элементов, характеризующим баланс элементов в системе почва–растение, является коэффициент биологического накопления. Судя по полученным данным, городская растительность весьма слабо накапливает металлы из почвы. Среднестатистические значения КБН изменяются от 0,02 (Fe) до 0,30 (Zn, Cd) у древесно-кустарниковых видов, формирующих городские насаждения Владивостока, и от 0,01 (Fe) до 0,29 (Zn) – у травостоя. Его повышенные значения (до 0,22) отмечены также для Cu у обеих сравниваемых жизненных форм растений, а также для Mn у древесных видов. У древесно-кустарниковых и травянистых растений оказались сходными как суммарное накопление 8 протестированных металлов по величинам КБН, так и характер этого накопления по типам насаждений. КБН суммы металлов возрастает у древесно-кустарниковых насаждений в ряду: рядовые посадки (КБН = 1,13) → внутриквартальное озеленение (1,21) → сады-скверы (1,29) → ВРЛ (1,30) → скверы (1,60) → городские парки (1,87), а у травостоя в ряду: рядовые посадки (КБН = 0,81) → внутриквартальное озеленение (0,90) → скверы (1,34) → ВРЛ (1,36) → сады-скверы (1,42) → парки (1,74).

Обобщение полученных результатов свидетельствует о достаточно высокой специфичности экологических и функциональных составляющих жизнедеятельности сравниваемых типов насаждений. Так, озелененные городские территории, занятые рядовыми насаждениями (преимущественно магистральные рядовые посадки), подвержены повышенным антропогенно-техногенным нагрузкам, что в значительной степени обуславливает высокое загрязнение металлами почв и древесно-кустарниковых растений, пониженное жизненное состояние травостоя и значительное ухудшение лесорастительных качеств почвы. Самые высокие антропогенно-техногенные нагрузки испытывают скверы. Для них также отмечена высокая концентрация металлов в растениях, в том числе основных загрязнителей городской среды, и повышенное накопление металлов древесно-кустарниковыми видами из почвы. На городских территориях, занятых внутриквартальным озеленением, зафиксировано существенное снижение качества почв по сравнению с ЛЭФ. В то же время для них характерен самый богатый видовой состав деревьев и кустарников, умеренно ослабленный виталитет травостоя, невысокое содержание металлов в травянистой растительности, низкие значения КБН металлов как у древесно-кустарниковых, так и травянистых растений. Парковые растительные сообщества отличаются хорошим соответствием почв природным аналогам по основным физико-химическим свойствам, низким содержанием в почвах комплекса основных металлов-загрязнителей, но в то же время

высокой аккумуляцией металлов травянистой растительностью и повышенным накоплением растениями металлов из почвенного покрова. Для внутригородских рекреационных лесов установлено минимальное среди сравниваемых насаждений содержание основных металлов-загрязнителей в растительности и невысокие относительные содержания металлов в древесно-кустарниковых растениях и почвах. В то же время для них характерны самый бедный среди сравниваемых насаждений видовой состав арборифлоры и низкий жизненный статус древостоя. Насаждения старых садов занимают по всем сравниваемым эколого-биологическим параметрам среднее положение.

Интересно отметить, что самыми контрастными являются ранжированные ряды, отражающие воздействие антропогенно-техногенного пресса на озелененные территории (разница между крайними значениями составляет 3,9 раз), а также характеризующие концентрацию основных металлов-загрязнителей в почвах (3,4) и древесно-кустарниковых растениях (3,1). Наиболее стабильные значения показателей присущи рядам, отражающим лесорастительные качества почв (1,4), виталитет древостоя (1,4) и суммарное относительное накопление металлов травянистой растительностью (1,3).

Обсуждение

Анализ и осмысление полученного большого фактического материала, выполненные с использованием методов математической статистики, позволили установить ряд закономерностей в экологическом состоянии и функциональной эффективности объектов наших исследований.

Несмотря на то что малая статистическая выборка (6 сравниваемых типов насаждений) не позволила обнаружить значимых ($P = 0,95$) корреляционных зависимостей между озелененными городскими территориями различного назначения, выполненный анализ показал тесные связи между суммарным накоплением металлов-загрязнителей городской среды в древесно-кустарниковых растениях, с одной стороны, и накоплением металлов в почвах ($r = 0,80$), напряженностью антропогенно-техногенного пресса ($r = 0,76$), видовым разнообразием насаждений ($r = 0,72$) – с другой (табл. 4). Установлены высокие отрицательные взаимозависимости также между лесорастительными свойствами почв и суммой накапливаемых арборифлорой металлов ($r = -0,71$) и уровнем антропогенно-техногенных нагрузок ($r = -0,79$).

Таблица 4

Корреляционная матрица парных взаимосвязей параметров эколого-биологического состояния зеленых насаждений Владивостока

Параметры		1	2	3	4	5	6	7
1	Zс древесно-кустарниковых видов	1						
2	Zс травянистых растений	0,08	1					
3	Zс почвы	0,80	-0,52	1				
4	Антропогенно-техногенные нагрузки	0,76	0,26	0,44	1			
5	Видовое разнообразие	0,72	0,12	0,60	0,15	1		
6	Жизненное состояние	0,51	0,63	0,05	0,41	0,56	1	
7	Лесорастительные свойства почв	-0,71	0,20	-0,65	-0,79	-0,17	-0,37	1

По итогам анализа компонент были выделены две главные, описывающие совокупно 80 % дисперсии (табл. 5). В первую компоненту входят суммарное накопление металлов-загрязнителей почвами и древесно-кустарниковыми видами, видовое разнообразие арборифлоры, формирующей городские насаждения, а также лесорастительные качества почв, причем с отрицательным знаком. Выделенные переменные характеризуют преимущественно экологическое состояние городских озелененных территорий в целом и в первую

очередь условия существования арборифлоры. Вторая компонента включает две значимые переменные – накопление металлов-загрязнителей травянистыми растениями и жизненное состояние древесно-кустарниковых насаждений. Это позволяет интерпретировать первый фактор как определяющий в большей степени эколого-биологический статус древесно-кустарниковых, а второй – травянистых растений в городских насаждениях.

Таблица 5
Результаты факторного анализа показателей экологического состояния городских озелененных территорий Владивостока

Переменные	Факторные нагрузки*	
	Фактор 1	Фактор 2
Zс древесно-кустарниковых растений	0,911	0,333
Zс травянистых растений	-0,281	0,956
Zс почвы	0,938	-0,281
Антропогенно-техногенные нагрузки	0,580	0,432
Видовое разнообразие	0,703	0,322
Жизненное состояние насаждений	0,382	0,805
Лесорастительные свойства почв	-0,815	0,360
Общая дисперсия	3,430	2,172
Доля общей дисперсии	0,490	0,310

*Применено varimax-вращение.

Сходство 6 различных по функциональному назначению городских насаждений было установлено с использованием кластерного анализа (метод одиночной связи, евклидово расстояние). Дендрограмма сходства приведена на рис. 1. Она свидетельствует о наиболее тесной связи между внутригородскими рекреационными лесами и старыми садами. Близкими по комплексу рассматриваемых эколого-биологических характеристик оказались также рядовые насаждения и внутриквартальное озеленение, скверы и городские парки, объединившиеся в кластер типичных городских насаждений.

Итоговое обобщение полученных качественных и количественных характеристик объектов исследований потребовало поиска новых подходов и методов комплексной оценки уровня их качества. В результате была разработана оригинальная методика для

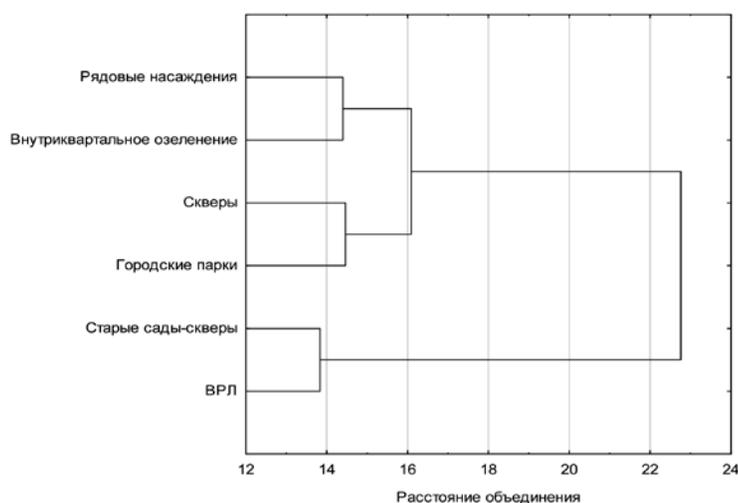


Рис. 1. Дендрограмма сходства городских зеленых насаждений по показателям эколого-биологического состояния (метод одиночной связи, евклидово расстояние)

интегральной оценки и сравнения функциональной эффективности городских зеленых насаждений разного назначения. В ее основу был положен введенный нами сводный показатель – индекс функционального статуса (ИФС) насаждений. Он представляет собой интегральный относительно-количественный показатель экологического состояния и эффективности выполнения средостабилизирующих и средообразующих (экологических, декоративных, санитарно-гигиенических и др.) функций зеленых насаждений. Функциональное состояние насаждений оценивалось по сумме следующих базовых эколого-биологических показателей: богатству видового состава насаждений и жизненному статусу древостоя [10]; способности растений накапливать и вовлекать в биогенную миграцию металлы-загрязнители городской среды (ОИН металлов, Zc основных металлов-загрязнителей городской растительности, КБН); физико-химическим свойствам почв, характеризующим почвенные лесорастительные условия, и интенсивности накопления почвами комплекса металлов-загрязнителей городской среды [12, 16]. Условно было принято положение о примерно одинаковой биологической значимости всех показателей, формирующих «дерево свойств» (в данном случае – величину ИФС насаждений). Параллельно с базовыми показателями учитывался уровень антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на озелененные территории.

При разработке ИФС насаждений были использованы некоторые подходы и методы прикладной квалиметрии [2, 3]. Примеры их успешного применения в биологических и экологических исследованиях имеются в научной литературе [1, 8].

Согласно принятой методике все показатели, характеризующие качественное состояние насаждений, выраженные в абсолютных единицах, были переведены в относительные безразмерные единицы, или коэффициенты качества (K_i), следующей нормирующей функцией: $K_i = (Q_i - Q_i^{min}) / (Q_i^{opt} - Q_i^{min})$, где Q_i – качественный показатель насаждения в абсолютных единицах, Q_i^{min} и Q_i^{opt} – его минимальные и оптимальные значения.

Для большинства сравниваемых показателей в качестве эталонных значений были приняты оптимальные и минимальные для города содержания. Исключением являлись оценочные показатели лесорастительных свойств почв и накопления почвами и растениями приоритетных металлов-загрязнителей городской среды, при расчете которых в качестве эталонных были использованы их локально-фоновые уровни. В дальнейшем на основе полученных качественных характеристик была выполнена количественная оценка качества городских зеленых насаждений, соответствующая индексу функционального статуса насаждений, по формуле: $ИФС = \sum_{i=1}^n K_i$.

Результаты интегрального метода оценки качества городских озелененных территорий представлены на рис. 2. Они отражают величины ИФС сравниваемых городских насаждений и формирующие их весовые вклады базовых эколого-биологических показателей, а также относительные значения антропогенно-техногенного пресса, воздействующего на городские озелененные территории.

Наиболее высокие значения ИФС отмечены у скверовых и рядовых насаждений. В первых они во многом обусловлены интенсивной аккумуляцией тяжелых металлов растительностью, во вторых – повышенным содержанием металлов-загрязнителей в почвах. Для внутриквартального озеленения наибольший вес в интегральном показателе имеют качество почв, в том числе содержание в них тяжелых металлов, содержание металлов в древесно-кустарниковых видах, а также богатый видовой состав этих насаждений. Для городских парков и старых садов наиболее весомыми параметрами являются содержание металлов в травостое, для ВРЛ – содержание металлов в травостое и лесорастительные качества почвенного покрова.

Минимальное значение ИФС установлено для ВРЛ, которое почти в 1,5 раза ниже функциональной значимости скверовых и рядовых посадок. Для этого типа насаждений характерны наименьшее среди сравниваемых посадок разнообразие арборифлоры и самый низкий ее виталитет, соответствующий сильно ослабленным насаждениям, а также слабая аккумуляция металлов растительностью и почвами. Причинами этого являются

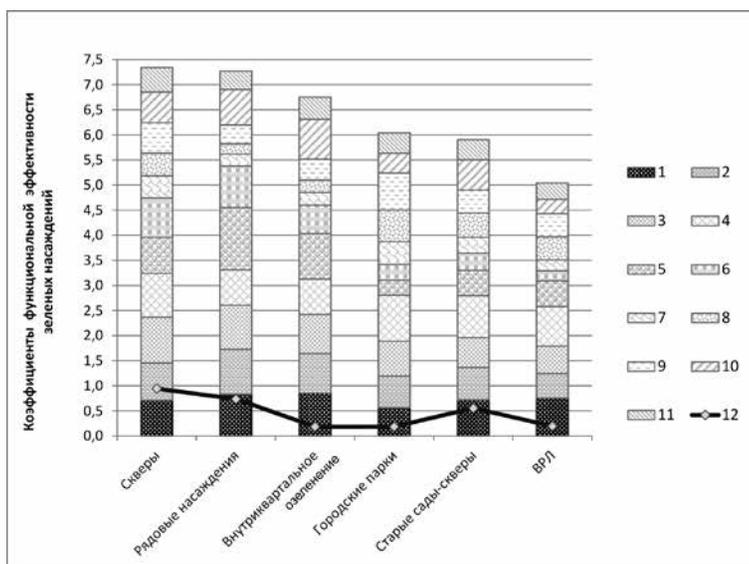


Рис. 2. Сравнительная оценка эколого-функционального состояния городских зеленых насаждений Владивостока

1 – лесорастительные свойства почв; 2 – ОИН металлов в почве; 3 – ОИН металлов в древесно-кустарниковых растениях; 4 – ОИН металлов в травянистых растениях; 5 – Zс металлов-загрязнителей в городских почвах; 6 – Zс металлов-загрязнителей в древесно-кустарниковых растениях; 7 – Zс металлов-загрязнителей в укосном травостое; 8 – КБН металлов древесно-кустарниковыми растениями; 9 – КБН накопления металлов травянистыми растениями; 10 – богатство видового состава арборифлоры; 11 – средний жизненный статус древостоя; 12 – интенсивность антропогенно-техногенного пресса

практически полное отсутствие мер ухода за этими растительными сообществами и слабое естественное возобновление древостоя и кустарников. В то же время, располагаясь по окраинам городской черты, они в меньшей степени подвержены техногенному химическому загрязнению, характерному для урбоэкосистем.

Графические данные рис. 2 наглядно свидетельствуют также о том, что прямой зависимости между функциональным состоянием насаждений и уровнем воздействующих на них антропогенно-техногенных нагрузок не наблюдается. Повышенный антропогенно-техногенный пресс испытывают озелененные территории, занятые скверами, магистральными рядовыми насаждениями и старыми садами. Соотношение между комплексным показателем функционального состояния этих насаждений и уровнем воздействующего на них антропогенно-техногенного пресса, характеризующее в той или иной мере степень экологического неблагополучия озелененных городских территорий, составляет в данном случае 0,10–0,13, что примерно в 3–4 раза выше соответствующей величины для ВРЛ, парков и внутриквартального озеленения.

Выводы

Проведенные исследования позволили качественно и количественно оценить состояние городских озелененных территорий различного функционального назначения во Владивостоке и выявить наиболее значимые эколого-биологические факторы, определяющие в итоге функциональную эффективность городских насаждений.

Разработанная методика дает возможность проводить интегральную оценку качества объектов городского озеленения на основе комплекса базовых эколого-биологических

показателей (коэффициентов качества) и определять наиболее значимые из них для каждого типового насаждения.

Полученные результаты могут успешно использоваться при организации длительного мониторинга городских экосистем и динамических наблюдений за экологическим состоянием их биотических компонентов. Они также убедительно доказывают необходимость научно обоснованного подхода при создании устойчивой системы городских зеленых насаждений и внедрении дифференцированных и адекватных мер ухода за озелененными городскими территориями различного функционального назначения.

Особое внимание необходимо обратить на внутригородские рекреационные леса. В последнее время именно эти городские зеленые «острова» интенсивно отводятся под жилищное строительство. Рекомендуем соответствующим органам включить их в реестр городских озелененных территорий, выполнить на этих территориях необходимые лесохозяйственные мероприятия, провести реконструкцию насаждений и создать на их основе городские парки районного значения, которых так не хватает Владивостоку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеева Е.В., Полетайкин В.Ф., Авдеева Е.А. Оценка уровня качества объектов городского озеленения методами прикладной квалитметрии // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1/2. С. 93–98.
2. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалитметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
3. Гличев А.В., Панов В.П., Азгальдов Г.Г. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.
4. Государственный стандарт Союза ССР. Озеленение городов. Термины и определения. ГОСТ 28329-89 [Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 10.11.89 № 3336. Дата введения 01.01.1991 г.].
5. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Прима-Пресс, 1998. 26 с.
6. Озеленение городов Приморского края. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 516 с.
7. Саев Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 84–100.
8. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
9. Шихова Н.С. Биогеохимическая оценка состояния городской среды // Экология. 1997. № 2. С. 146–149.
10. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
11. Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
12. Шихова Н.С. Мониторинг физического состояния городских почв в связи с проблемами озеленения // Сибир. экол. журн. 2005. № 5. С. 899–907.
13. Шихова Н.С. Мониторинг экологического состояния придорожных насаждений г. Владивостока // Вестн. ИрГСХА. 2011. № 44-2. С. 158–165.
14. Шихова Н.С. Трансформация дальневосточной арборифлорой техногенных загрязнений среды // Аграр. вестн. Приморья. 2016. № 1. С. 29–32.
15. Шихова Н.С. Экологическое состояние парковых фитоценозов г. Владивостока: опыт комплексной оценки // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4. С. 97–106.
16. Шихова Н.С. Экологическое состояние почв и зеленых насаждений Владивостока // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 97–102.

Н.К. ХРИСТОФОРОВА, А.Д. КОБЗАРЬ, Р.А. ГРИГОРОВ

Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей

*На основе данных о содержании Fe, Zn, Cu, Cd, Ni в бурых водорослях-макрофитах *Sargassum pallidum*, *S. miyabei* и *Stephanocystis crassipes* как аккумулирующих биоиндикаторах, собранных в июле 2017 г. вдоль побережья Уссурийского залива, получено представление о состоянии прибрежных вод этого залива. Установлено, что найденные концентрации тяжелых металлов на большинстве станций находятся в пределах фонового диапазона для исследуемых видов в северо-западной части Японского моря. Показано также, что существенное превышение фона некоторых металлов, прежде всего Fe и Cu, наблюдается в водорослях импактных районов – мысов Геллера и Муравьиный в вершине залива, в бухтах Промежуточная и Десантная в городской зоне Владивостока.*

Ключевые слова: Уссурийский залив, зал. Петра Великого, загрязнение, тяжелые металлы, биоиндикация, *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Stephanocystis crassipes*.

The Ussuri Bay: shallow water pollution by heavy metals and its assessment using brown algae. N.K. KHRISTOFOROVA^{1,2}, A.D. KOBZAR¹, R.A. GRIGOROV¹ (¹Far Eastern Federal University, Vladivostok; ²Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok).

*Based on the data on the content of Fe, Zn, Cu, Cd, and Ni in macrophyte brown algae *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, and *Stephanocystis crassipes*, as accumulating bioindicators collected in July 2017 along the coast of the Ussuri Bay, an impression on the conditions of the coastal waters of the Bay was gained. It was established that the concentrations of heavy metals at most stations are within the background range for the species under study in the northwestern part of the Sea of Japan. It was also shown that a significant excess of the background of some metals, primarily Fe and Cu, is observed in the algae of the impact areas – Geller Cape and Muravyiny Cape at the top of the Bay, in the Promezhutochnaya Bay and Desantnaya Bay in the urban zone of Vladivostok.*

Key words: the Ussuri Bay, Peter the Great Bay, pollution, heavy metals, bioindication, *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Stephanocystis crassipes*.

Введение

Уссурийский залив – крупнейший из заливов второго порядка, входящих в состав зал. Петра Великого Японского моря, занимает его северо-восточную часть. С северо-запада он ограничен п-овом Муравьев-Амурский и его островным продолжением: крупными островами Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда и целым рядом мелких остро-

*ХРИСТОФОРОВА Надежда Константиновна – доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток; Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток), КОБЗАРЬ Анна Дмитриевна – старший преподаватель, ГРИГОРОВ Роман Андреевич – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: more301040@gmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-50-00034).

вов и скал. Его восточную границу образует материковый берег и о-в Аскольд. Берега залива высокие, крутые, обрывистые и, за исключением вершины, приглубые. Западные отличаются слабой изрезанностью, здесь часто встречаются вертикальные стенки и неприступные уступы, почти нет удобных и значительных по размерам бухт. Они мало населены, хотя узкие пляжи северо-западного побережья в настоящее время буквально усыпаны вытянувшимися вдоль них туристическими базами и пансионатами. В южной части западного побережья залива к его обрывистому и скалистому берегу выходит микрорайон Тихая города Владивостока, где находится ТЭЦ-2, долгое время работавшая на буром угле (сейчас переведена на газ). Бухтами с сильным техногенным загрязнением являются бухты Промежуточная и Горностай. В первую по небольшой речке поступают стоки из-под золоотвалов от ТЭЦ-2. Во вторую сбегает ручей из-под забранной в саркофаг городской свалки. Большой пресс из-за отдыхающих испытывает в летнее время бухта Лазурная, берега которой представляют собой редкое исключение для побережья Уссурийского залива: они песчаные и отмелье, с прилегающей к ним низменностью. В бухту впадает р. Лазурная, в верховье которой находятся поселок и воинская часть. Севернее расположена бухта Емар, также с низким берегом, но с более узким пляжем. На ее берегу располагаются действующий круглогодично детский центр «Океан», а также небольшой поселок.

Восточные берега залива гораздо более изрезаны, имеют глубоко вдающиеся бухты, в том числе такие крупные, как Суходол, Большого Камня, Андреева, а также мелкие бухточки, отличаются далеко выступающими в море мысами с многочисленными скалами и рифами. Вершиной Уссурийского залива является зал. Муравьиный – очень мелководный, с низкими песчаными берегами. К северной и северо-восточной границе залива выходит Шкотовский район Приморского края. Почти на всем протяжении сухопутная граница этого района проходит по водоразделу, поэтому его рельеф представляет собой гигантский амфитеатр, обращенный на запад в сторону Уссурийского залива. Горное обрамление на севере и северо-востоке определяет направление главных водотоков, которые несут свои воды в две самые большие бухты – Муравьиную и Суходол. Почти вся территория района располагается в пределах водосборных бассейнов четырех основных ее рек – Артемовки, Шкотовки, Суходола и Петровки [14]. Конечный бассейн всех водотоков – крупных и мелких – один: Уссурийский залив.

Наиболее крупной рекой района является Артемовка (длина 63 км). В нее в 4 км от устья впадает р. Кневичанка, бассейн которой полностью расположен в пределах г. Артем (четвертый по величине в Приморском крае, численность населения более 100 тыс. чел., в городской черте находится Артемовская ГРЭС, работающая с 1934 г. на буром угле, вблизи города расположен международный аэропорт Кневичи). Река Шкотовка (длина 56 км) по гидрографическим характеристикам стоит на втором месте после Артемовки. Река Суходол (длина 47 км) берет начало в горах и несет свои воды в бухту Суходол мимо небольших поселений и таких крупных поселков, как Новонежино и Романовка. Наконец, р. Петровка (длина 33 км), ее бассейн водосбора занимает юго-западную часть Шкотовского района. В среднем мутность вод перечисленных рек составляет 80 г/м³, что в два раза ниже, чем у таких крупных рек Приморья, впадающих в зал. Петра Великого, как Туманная и Раздольная [14].

Шкотовский район заселен слабо (в нем проживает менее 26 тыс. чел. – 1,3 % от общей численности населения Приморья [14]), однако на берегу бухт Большого Камня и Андреева расположен г. Большой Камень, являющийся центром судостроения и судоремонта, хорошо известный заводом «Звезда», выполняющим заказы для военно-морского флота, рядом с которым строится крупная верфь. На побережье севернее Большого Камня начато строительство порта Суходол, южнее находятся рыболовецкие кооперативы, судоремонтные предприятия, хозяйства по выращиванию морского гребешка и других промысловых беспозвоночных, многочисленные базы отдыха. Южнее пос. Подъяпольское развивается новый крупный угольный порт Вера.

Среди акваторий зал. Петра Великого Уссурийский залив является самым крупным. В то же время он менее изучен, чем Амурский и зал. Находка, поскольку является более глубоким и открытым и, как следствие, более динамичным. Побережье Уссурийского залива менее освоено человеком, чем Амурского и Находки, однако и на нем имеются и появляются участки интенсивного техногенного воздействия. Кроме уже упомянутых «напряженных» мест, отметим, что на западном побережье залива, ближе к его вершине (бухта Муравьиная), вырастает игорная зона.

Итак, сегодня Уссурийский залив принимает сточные воды городов Владивосток (стоки от юго-восточной части города – микрорайона Тихая), Артем с пос. Артемовский (реки Артемовка, Кневичанка), Большой Камень, примыкающего к нему пос. Андреево и множества населенных пунктов, стоки которых поставляются реками восточного побережья.

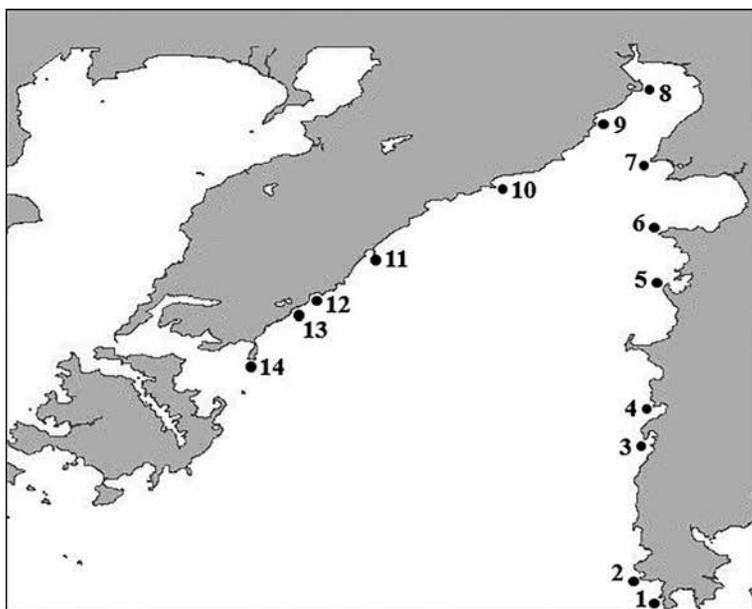
В настоящее время прибрежные воды морей Дальнего Востока подвержены заметному антропогенному загрязнению, вызванному строительством портов, ростом морских перевозок, береговой переработкой рыбы, добычей топливных ресурсов, судоремонтом, развитием прибрежно-морской рекреации, что приводит к повышению фона многих металлов в водной среде и их концентраций в гидробионтах. Все это указывает на необходимость контроля и проведения мониторинга состояния прибрежно-морских вод для получения информации об изменяющихся условиях среды водных экосистем. Среди методов контроля загрязнения вод тяжелыми металлами широкое распространение получила биоиндикация с использованием бурых водорослей-макрофитов, основанная на высокой адекватности их химического состава геохимическим условиям среды обитания [9, 18–20, 22, 23, 26, 27, 30], другими словами, качество природной среды оценивают по отклику биоты – аккумуляции тяжелых металлов в талломах водорослей. По мнению многих специалистов, бурые водоросли, имеющие постоянный контакт со средой, лучший объект для биоиндикации, чем, например, моллюски, которые могут закрываться и надолго изолироваться от неблагоприятных условий и у которых гораздо больший период полувыведения накопленных металлов из организма [9, 19]. Содержание тяжелых металлов в бурых водорослях позволяет получить достоверную, малозатратную и своевременную информацию о качестве окружающей среды, о причинах и следствиях возникающих экологических ситуаций [5, 6, 24, 25, 28, 29]. Сведения о содержании тяжелых металлов в бурых водорослях представляют большой интерес не только для экологического мониторинга. Они позволяют также оценить макрофитов с точки зрения промышленного значения и безопасности их использования в пищу по содержанию допустимых концентраций поллютантов [1, 12].

Цель нашей работы: охарактеризовать современное состояние прибрежных вод Уссурийского залива по содержанию тяжелых металлов в массовых видах бурых водорослей *Sargassum pallidum*, *S. miyabei* и *Stephanocystis crassipes*, сравнить уровни содержания элементов в макрофитах с показателями для фоновых районов северо-западной части Японского моря, а также с концентрациями металлов в водорослях Амурского залива.

Материалы и методы исследований

В июльской экспедиции 2017 г. в прибрежных водах Уссурийского залива было сделано 14 станций (см. рисунок), преимущественно у мысов, на которых были собраны массовые виды бурых водорослей, широко использованных нами и нашими коллегами в предыдущих работах при изучении загрязнения прибрежно-морских вод других акваторий Приморья [5, 6, 10, 11, 13, 23–25]: *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Stephanocystis crassipes*, относящиеся к порядку Fucales. Саргассумы, произрастающие в тепловодных акваториях дальневосточных морей, являются «связующим звеном», позволяющим сравнивать химические факторы среды в морях бореальной и тропической зон [7, 9]. Стефаноцистис толстоногий (ранее *Cystoseira crassipes*) – холодноводный вид, более широко распространен

в северном секторе Пацифики [7], удобен в качестве организма-монитора морей бореальной зоны. *S. crassipes* имеет более мощное и сильнее разветвленное слоевище с обилием пузырей и «веточек», чем саргассумы, держится за субстрат крепкой «ножкой» с толстой подошвой. Он широко распространен на Дальнем Востоке и, наряду с ламинарией японской, составляет основную биомассу макрофитов в прибрежных акваториях Приморья. Из саргассумов большей удельной поверхностью контакта со средой обладает *S. miyabei*. Использование бурых водорослей обусловлено особенностями их химического состава, который позволяет накапливать микроэлементы в количествах, пропорциональных их содержанию в среде, и длительное время удерживать в своих тканях [1, 9, 20, 21].



Карта-схема мест сбора водорослей в Уссурийском заливе. 1 – мыс Сысоева, 2 – мыс Веселкина, 3 – бухта Подьяпольского, 4 – мыс Таранный, 5 – мыс Палец, 6 – бухта Суходол, мыс Красный, 7 – мыс Теляковского, 8 – мыс Геллера, 9 – мыс Муравьиный, 10 – бухта Емар, мыс Энгельма, 11 – бухта Десантная, 12 – бухта Горностаев, 13 – бухта Промежуточная, 14 – мыс Басаргина

Водоросли собирали водолажным методом в сублиторальной зоне с использованием лодки, спускаемой с борта НИС «Импульс» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН. Каждая проба, включавшая три (для стефаноцистиса) – пять или семь (для саргассумов) талломов, анализировалась в трех повторностях. Высушенные и измельченные водоросли минерализовали азотной кислотой в соответствии с ГОСТ 26929-94*. Содержание металлов в пробах определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре фирмы Shimadzu AA-6800 в лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН: Fe, Cu, Zn и Ni – в пламени, Cd – в графитовой кювете.

Точность определения концентрации металлов контролировали, анализируя стандартные образцы (NIES 9.0 Sargasso). Ошибка определения не превышала 15 %. Концентрации металлов выражали в мкг/г сухой массы. Математическая обработка данных (расчет среднего и стандартного отклонения) осуществлялась в программе Excel. Значимость различий в пространственном распределении тяжелых металлов устанавливалась при помощи Н-критерия Краскела–Уоллеса в программе SPSS Statistics 17.

* ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов. М., 1994. 20 с.

Результаты и обсуждение

В данной работе изучалось загрязнение прибрежно-морских вод Уссурийского залива такими металлами, как железо, цинк, медь, никель, кадмий. Fe, как правило, характеризует терригенный сток. Zn и Cu в нашем случае могут отражать влияние хозяйственно-бытовых и гальванических стоков. Ni и Cd являются трассерами техногенного пресса. Оба последних элемента поступают в окружающую среду при сжигании топлива и отходов, а также могут поставляться в залив гальваническими стоками. Результаты определения содержания металлов в водорослях показаны в таблице.

Результаты статистического анализа демонстрируют, что вероятность достоверных отличий между выборками была не ниже 95 % (для Zn $p = 0,007$, Cu – 0,001, Cd – 0,001, Ni – 0,001, Fe – 0,001), следовательно, содержание металлов в водорослях из разных мест прибрежно-морской зоны Уссурийского залива значимо различается.

Концентрации тяжелых металлов в бурых водорослях Уссурийского залива, мкг/г сухой массы

Станция	Вид	Ni	Zn	Fe	Cd	Cu
1. Мыс Сысоева	<i>S. crassipes</i>	1,82 ± 0,02	22,92 ± 0,95	84,27 ± 3,90	1,68 ± 0,03	1,76 ± 1,12
2. Мыс Веселкина	<i>S. crassipes</i>	2,02 ± 0,02	25,94 ± 1,46	91,23 ± 2,43	2,59 ± 0,21	2,32 ± 0,16
3. Бухта Подъяпольского	<i>S. miyabei</i>	2,30 ± 0,14	16,43 ± 1,63	103,37 ± 2,98	1,20 ± 0,07	3,29 ± 0,05
4. Мыс Таранный	<i>S. crassipes</i>	2,52 ± 0,17	12,82 ± 0,71	126,40 ± 4,52	1,14 ± 0,30	1,82 ± 0,20
5. Мыс Палец	<i>S. miyabei</i>	2,54 ± 0,02	21,82 ± 2,10	104,69 ± 7,00	2,11 ± 0,09	2,96 ± 0,04
6. Мыс Красный, бухта Суходол	<i>S. pallidum</i>	3,33 ± 0,05	9,39 ± 0,07	207,19 ± 7,30	1,40 ± 0,15	1,45 ± 0,06
7. Мыс Теляковского	<i>S. pallidum</i>	5,24 ± 0,24	6,25 ± 0,39	564,20 ± 22,23	1,58 ± 0,05	2,08 ± 0,04
8. Мыс Геллера	<i>S. miyabei</i>	2,93 ± 0,33	17,50 ± 1,77	148,07 ± 5,72	3,64 ± 1,11	2,73 ± 0,45
9. Мыс Муравьиный	<i>S. crassipes</i>	4,96 ± 0,25	7,03 ± 1,19	981,68 ± 6,55	3,18 ± 0,07	2,49 ± 0,14
10. Мыс Энгельма, бухта Емар	<i>S. crassipes</i>	4,36 ± 0,10	13,30 ± 0,35	1356,46 ± 29,50	4,07 ± 2,48	2,63 ± 0,17
11. Бухта Десантная	<i>S. pallidum</i>	2,19 ± 0,38	20,34 ± 2,00	130,49 ± 11,08	1,10 ± 0,14	3,09 ± 0,10
12. Бухта Горностаи	<i>S. crassipes</i>	1,85 ± 0,40	28,94 ± 1,21	91,94 ± 1,55	3,36 ± 0,35	1,87 ± 0,16
13. Бухта Промежуточная	<i>S. miyabei</i>	3,52 ± 0,27	29,43 ± 1,34	144,88 ± 7,14	1,01 ± 0,03	14,46 ± 0,08
14. Мыс Басаргина	<i>S. pallidum</i>	3,49 ± 0,15	19,25 ± 2,57	257,23 ± 22,4	1,55 ± 0,10	3,84 ± 0,27
	<i>S. miyabei</i>	3,59 ± 0,15	16,67 ± 0,12	1320,52 ± 8,82	0,61 ± 0,08	19,37 ± 2,34
	<i>S. pallidum</i>	4,47 ± 0,16	26,07 ± 2,72	354,30 ± 4,81	1,37 ± 0,06	5,22 ± 0,12
	<i>S. pallidum</i>	3,62 ± 0,09	11,68 ± 1,08	98,52 ± 1,97	1,22 ± 0,03	2,66 ± 0,02
Верхние значения фонового диапазона концентраций элементов [12]						
Северо-западная часть	<i>S. crassipes</i>	4,20	42,70	81,00	3,20	3,60
	<i>S. miyabei</i>	3,60	23,90	746,00	2,90	4,70
Японского моря	<i>S. pallidum</i>	3,80	23,80	672,00	1,70	3,90

Примечание. Значения, выделенные полужирным шрифтом, – высокие, курсивом – наиболее низкие.

Как следует из данных таблицы, **железо** резко выделяется среди всех элементов высокими уровнями содержания и большим перепадом величин (84,27–1356,46 мкг/г; максимум – в водорослях бухты Промежуточная), хотя модальный диапазон (9 из 14 показателей) лежит в пределах 91–148 мкг/г. Даже его наименьшие значения не идут в сравнение с наибольшими величинами концентраций других элементов. Fe поступает в залив с речным стоком и терригенным (поверхностным) смывом, что подтверждается его наибольшим количеством в водорослях у мысов Красный, Геллера и Муравьиный, расположенных в ктовой части залива, в зоне влияния всех впадающих в него рек. У скалистых вертикальных мысов на выходе из залива (Сысоева и Веселкина) содержание железа в

водорослях наиболее низкое – не достигает 100 мкг/г. Низко оно также у скалистых мысов и берегов западной стороны залива (мысы Энгельма и Басаргина, бухта Десантная).

Самые высокие количества **Cd** найдены в водорослях у мысов Теляковского, Геллера и Муравьиный. В то время как в прибрежные воды Амурского залива кадмий, выброс которого в окружающую среду связан с промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, а также сжиганием дизельного топлива и мазута [4], поступает преимущественно из атмосферы, а не с речным стоком, что отмечали В.М. Шулькин и Г.И. Семькина [15], в Уссурийском заливе, как видно, в поставке данного элемента превалирует речной сток. Для *S. pallidum* фоновый диапазон концентраций **Cd** в северо-западной части Японского моря, на который указывает Е.Н. Чернова [13], составляет 0,5–1,7 мкг/г. Как следует из наших данных, верхнее значение фонового диапазона не превышено ни на одной из 6 станций, где был собран этот вид водорослей.

Известно, что в местах с обилием железа во взвешенной форме можно ожидать и повышения содержания **никеля** в среде и организмах, поскольку **Ni** легко соосаждается с гидроксидом **Fe** [23]. Очевидно, именно это мы и наблюдаем в вершинной части залива у мысов Красный, Геллера и Муравьиный, находящихся в зонах обильного выноса реками взвешенного материала: содержание **Ni** в водорослях у этих мысов было наибольшим, составляя $5,24 \pm 0,24$ мкг/г в *S. pallidum* у мыса Красный и $4,96 \pm 0,25$ и $4,36 \pm 0,1$ мкг/г в *S. crassipes* у мысов Геллера и Муравьиный. Правда, здесь может маскироваться тот факт, что самая высокая концентрация **Ni** при не самом высоком содержании **Fe** у мыса Красный обусловлена, возможно, дополнительно гальваническим стоком от судоремонтного завода в Большом Камне, доносимым до этого мыса.

При низких концентрациях почти всех элементов водоросли, растущие у входных мысов Сыроева и Веселкина на востоке залива, выделяются высоким содержанием **цинка**, и эта особенность сохраняется вплоть до мыса Таранный бухты Пяти Охотников. Однако уже у мыса Палец содержание данного элемента в макрофитах резко снижается, оставаясь пониженным на всех станциях вершинной части. Южнее по западному берегу картина резко меняется, и начиная с бухты Емар (мыс Энгельма), вдоль которой протянулись корпуса детского центра «Океан» с расположенным выше него небольшим микрорайоном, содержание **Zn** в водорослях резко возрастает. Несомненно, что это отражение антропогенного пресса на прибрежную зону залива. При этом на юго-восточной оконечности побережья этот пресс может быть обусловлен влиянием как индустриального пос. Дунай (мысы Сыроева и Веселкина являются входными в бухту Дунай), так и затекающих в Уссурийский залив вод из зал. Стрелок, где сосредоточены корабли военно-морского флота. Однако самые низкие из всех определений концентрации **Ni** и **Cu** в водорослях у мыса Сыроева говорят о том, что возможное загрязнение затекающими водами (течение по восточному борту Уссурийского залива в это время направлено к вершине [8]) не связано ни с сжиганием флотского мазута (поступление **Ni**), ни с льяльными водами кораблей (поступление **Cu**) [2, 23].

Остановимся подробнее на ситуации на трех станциях.

В водорослях бухты Промежуточная зафиксировано самое высокое содержание **железа**: в нее стекает крупный ручей, идущий из-под золоотвалов ТЭЦ-2. У растущего довольно близко к берегу *S. miyabei* зафиксирована не только большая концентрация **Fe**, но и наиболее высокое содержание **Cu**. Медь обычно не дает неожиданных всплесков концентраций – это минорный и довольно равномерно распределенный в организмах микроэлемент. Но в Уссурийском заливе она, как и железо, демонстрирует резкую контрастность концентраций – от 1,4 до 19,4 мкг/г, хотя модальный диапазон (8 из 14 случаев) лежит в пределах 2,3–3,3 мкг/г. Отметим попутно, что в водорослях с этой станции также повышено количество **Ni** и **Zn** – золоотвалы «подпитывают» прибрежно-морские воды тяжелыми металлами. Однако концентрация **Cd** в водорослях с этого места была наименьшей ($0,61 \pm 0,08$ мкг/г): видимо, в зольном материале после сжигания топлива совершенно не остается летучего кадмия.

Высокие концентрации **Zn**, **Cu** и **Ni** характерны также для водорослей бухт Десантная и Горностай, в макрофитах последней они несколько ниже. Содержание **Cu** в *S. miyabei* в бухте Десантная было вторым по величине (первое – в этом же виде в бухте Промежуточная), в бухте Горностай оно превосходило почти все остальные значения для водорослей побережья залива. Концентрация **Zn** в *S. miyabei* из бухты Десантная была самой высокой. Наконец, в водорослях этих бухт, вне всякой связи с наличием взвеси и железа, было высоким и содержание **Ni**.

О бухтах Десантная и Горностай надо сказать, что между ними, ближе к последней, есть небольшая слабовыраженная бухта Безымянная, в которую сбегает одноименный ручей. На крутом берегу бухты стояла небольшая воинская часть, в долине ручья находился пос. Рыбачий. Подальше от берега размещался полигон твердых бытовых отходов – городская свалка, действовавшая с 1967 г. Отходы возгорались и постоянно дымили, выделяя свалочные газы, сползавшие в долину и расстилавшиеся над территорией. Поверхностные и подземные стоки с полигона загрязняли акваторию залива. В воду поступали взвешенные вещества, нефтепродукты и фенолы, донные осадки сорбировали тяжелые металлы (свинец, цинк, хром, никель, но особенно медь). Язык сильно загрязненных грунтов протягивался на север в сторону бухты Десантная более чем на 1 км. Полигон эксплуатировался с нарушением природоохранных и санитарно-гигиенических требований и наносил огромный ущерб окружающей среде и здоровью людей [16, 17]. Необходимость закрытия и рекультивации полигона назревала долгие годы. Работы по рекультивации начались только в 2010 г. и стали частью программы подготовки Владивостока к проведению саммита стран АТЭС в 2012 г. Перекрытие основной площади полигона глиняным экраном (саркофагом) привело к усилению процессов газообразования. Несмотря на установку газодренажных скважин, газ находил выход по трещинам. В период дождей из-под полигона появлялись водотоки, сбегające в море. Насыщенная метаном и CO_2 подкисленная полигонная вода способна растворять соединения металлов и выносить загрязнение в прибрежную воду [16, 17].

Как показало исследование, выполненное сотрудниками ДВФУ и ТИГ ДВО РАН в 2016 г., использовавшими водоросли-биоиндикаторы, загрязнение тяжелыми металлами, поставляемое дренажными водами с территории свалки, в бухту Десантная, оставалось высоким, но у пос. Рыбачий отсутствовало. Повторение исследований в 2017 г., также в июле, но при других погодных условиях, привело к другим результатам: оказалось, что загрязнение медью водорослей в бухте Десантная почти в два раза снизилось, а у пос. Рыбачий – почти в два раза возросло. Обилие осадков или их скудость, т.е. количество и качество дренажных вод, преобладающее направление ветра на юг (в сторону бухты Горностай) или на север (в сторону бухты Десантная) и другие факторы будут сказываться на состоянии среды в районе рекультивированной свалки. Несомненно, что на величину концентрации металла в водорослях будет влиять и точка их отбора – близость или удаленность от берега, меньшая или большая глубина. Содержание **Cu** (июль 2017 г.), выявленное нами в *S. pallidum* в бухте Горностай, равное $3,84 \pm 0,27$ мкг/г, практически совпало с данными коллег-геохимиков – $3,9 \pm 0,9$ мкг/г [11]. Однако показатели для *S. miyabei* в бухте Десантная различались в три раза – $14,46 \pm 0,08$ и $43,1 \pm 6,4$ мкг/г. Как отмечали П.Ю. Сёмкин с коллегами [8], изучавшие особенности распределения гидрохимических параметров Уссурийского залива, в теплый период года главными факторами, влияющими на состояние вод залива, являются речной сток, атмосферные осадки, фотосинтетическое продуцирование органического вещества, рельеф дна, солнечная радиация, интенсивность циркуляции и перемешивание вод залива, а также обмен вод залива с морем. Что касается бухты Десантная, то в ней, кроме распространяющихся от рекультивированной свалки загрязненных вод, есть и собственный источник загрязнения: к заякоренным здесь швартовным бочкам подходят суда для заправки топливом, поступающим из берегового хранилища.

Полученные результаты позволяют охарактеризовать не только каждую из обследованных станций, но и дают возможность выделить интегральные участки в прибрежной зоне Уссурийского залива. Как видно, четко выделяются три зоны побережья: вершинная, юго-западная и юго-восточная. Первая находится под влиянием речного, терригенного и промышленного стоков, специфика среды которой определяется превалированием Fe. Вторая («городская») характеризуется, главным образом, поступлением Ni и Cu, проявляющимся в наибольшей степени в бухтах Промежуточная, Горностай и Десантная. Третья зона, исключая промышленное влияние – бухту Большой Камень и прилегающие воды, имеет преимущественно «цинковую окраску».

Детальная характеристика станций, рассмотренная при изучении пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами в прибрежье, представляет собой внутреннюю оценку качества вод залива. Поэтому важно сравнить полученные данные с внешними, а именно с фоновыми характеристиками для северо-западной части Японского моря. С этой целью в таблице приведены верхние значения фонового диапазона концентрацией элементов для каждого из видов водорослей-индикаторов [12]. Как видно, для Fe превышен фоновый уровень в *S. crassipes* в вершине залива (в 21 раз) и в *S. miyabei* в бухте Промежуточная (в 1,8 раза); для Cu – в *S. miyabei* на двух станциях: в бухтах Десантная и Промежуточная (в 3 и 4 раза соответственно); для Cd – незначительно – в *S. miyabei* у мыса Теляковского и в *S. crassipes* у мыса Муравьиный; для Zn – в *S. crassipes* у мысов Веселкина и Энгельма, а также в *S. miyabei* в бухте Десантная; для Ni – в *S. pallidum* в бухтах Суходол и Промежуточная (в 1,4 и 1,2 раза соответственно), а также в *S. crassipes* у мыса Геллера (в 1,2 раза). Однако большинство определенных концентраций находятся в пределах фонового диапазона для исследуемых видов северо-запада Японского моря [12]. Существенные превышения фона для большинства исследуемых металлов наблюдаются в водорослях импактных районов – мысов Геллера и Муравьиный в вершине залива, в бухтах Промежуточная и Десантная в городской зоне Владивостока. Можно заключить, что сильно превышают фоновый уровень содержания в водорослях только два элемента – **Fe** и **Cu**. Именно они характеризуют геохимические условия среды как импактные в кутовой части залива (**Fe**), в районе, близком к бывшей свалке (**Cu**), и в месте стока от золоотвалов (**Fe, Cu**).

Несмотря на нарастающий пресс и наличие импактных мест в прибрежных водах Уссурийского залива, важно подчеркнуть, что он, тем не менее, существенно менее загрязнен, чем Амурский залив, что отмечалось неоднократно и ранее [8]. Так, средние для Амурского залива в целом концентрации элементов в *S. miyabei* (который в этом заливе преобладает по сравнению с Уссурийским), рассчитанные для 13 станций, составляют (мкг/г): Fe – $437,5 \pm 183,9$, Cu – $12,4 \pm 2,3$, Zn – $30,2 \pm 7,8$, Ni – $11,2 \pm 2,9$, Cd – $4,6 \pm 0,8$ [5]. Сравнение этих данных с величинами, приведенными в таблице, показывает, что Амурский залив, меньший по объему и более освоенный человеком, чем Уссурийский залив, более загрязнен всеми металлами (в 2–3 раза), но особенно никелем и кадмием, поставляемыми в основном при сжигании углеводородного топлива.

Заключение

Как показывает данное исследование, Уссурийский залив – самая крупная и глубоководная прибрежная акватория зал. Петра Великого Японского моря – слабо загрязнен тяжелыми металлами, несмотря на нарастающий пресс человека, проявляющийся в поступлении промышленных стоков и терригенного смыва, выносимых реками в кутовую часть, в постепенно распространяющейся по всему побережью рекреационной активности, развивающейся портовой деятельности. Старой не до конца решенной экологической проблемой остается сохраняющееся влияние на побережье Владивостока рекультивированной свалки ТБО и стоков от золоотвалов ТЭЦ-2.

По данным Гидрометеослужбы, в 2017 г., по сравнению с 2016 г., качество вод Уссурийского залива ухудшилось, изменившись с IV класса «загрязненные» до V класса «грязные». Однако это ухудшение было вызвано в основном увеличением содержания нефтяных углеводородов (НУ), среднегодовая концентрация которых превысила ПДК в 4 раза (наибольшее содержание НУ наблюдалось в июле). В то же время среднегодовые концентрации тяжелых металлов (почти всех определяемых нами элементов) в воде Уссурийского залива не превысили допустимого уровня. Лишь среднегодовая концентрация Fe превышала ПДК в 1,6 раза. Заметное повышение концентраций Fe и Ni зафиксировано также в придонном слое на выходе из залива, ближе к о-ву Русский [3]. Таким образом, и данные Доклада об экологической ситуации в Приморском крае в 2017 г. свидетельствуют о пока еще небольшом загрязнении вод Уссурийского залива тяжелыми металлами, что согласуется с полученными нами результатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Гурулева О.Н., Ковкевдова Л.Т. Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 6. С. 123–130.
2. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Л.: Химия, 1987. 192 с.
3. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2017 году. Владивосток: Администрация Приморского края, 2018. 233 с.
4. Кадмий: экологические аспекты / ВОЗ. М.: Медицина, 1994. 160 с.
5. Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К. Мониторинг загрязнения прибрежных вод Амурского залива (Японское море) тяжелыми металлами с использованием бурой водоросли *Sargassum miyabei* Yendo, 1907 // Биол. моря. 2015. Т. 41, № 5. С. 361–365.
6. Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Долговременный мониторинг загрязнения морских вод северного Приморья тяжелыми металлами с помощью бурых водорослей // Экология. 2000. № 3. С. 233–237.
7. Перестенко Л.П. Водоросли залива Петра Великого. Л.: Наука, 1980. 232 с.
8. Сёмкин П.Ю., Тищенко П.Я., Лобанов В.Б. и др. Особенности распределения гидрохимических параметров Уссурийского залива (Японское море) в летний период // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 152–168.
9. Христофорова Н.К. Биондикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука, 1989. 192 с.
10. Христофорова Н.К., Гамаюнова О.А., Кобзарь А.Д. Сравнение геохимических условий в акваториях залива Петра Великого (Японское море) по содержанию тяжелых металлов в бурой водоросли *Sargassum miyabei* // Современные тенденции развития биогеохимии. М.: ГЕОХИ РАН, 2016. С. 377–384. (Тр. биогеохим. лаб.; т. 25).
11. Чернова Е.Н., Коженкова С.И., Грищенко А.А. Мониторинг загрязнения металлами западной части Уссурийского залива после рекультивации свалки с помощью водорослей // Прибрежно-морская зона Дальнего Востока России: от освоения к устойчивому развитию: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию Междунар. каф. ЮНЕСКО «Морская экология» ДВФУ, Владивосток, 8–10 нояб. 2018. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2018. С. 126–128.
12. Чернова Е.Н., Коженкова С.И. Определение пороговых концентраций металлов в водорослях-индикаторах прибрежных вод северо-западной части Японского моря // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 393–402.
13. Чернова Е.Н. Определение фоновых концентраций металлов в бурой водоросли *Sargassum pallidum* из северо-западной части Японского моря // Биол. моря. 2012. Т. 38, № 3. С. 249–256.
14. Шкотовский район / сост. П.Ф. Бровко, Ю.И. Берсенева, В.В. Колягин, В.С. Петренко и др.; отв. ред. П.Ф. Бровко. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2005. 186 с. (Приморье: природа и ресурсы).
15. Шулькин В.М., Семькина Г.И. Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого и оценка их вклада в создание экологических проблем // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря / отв. ред. Н.К. Христофорова. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 252–287.
16. Яцук А.В., Обжиров А.И., Гресов А.И., Коровицкая Е.В. Газогеохимия и геоэкология полигона твердых бытовых отходов г. Владивостока // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 426–437.
17. Яцук А.В. Мониторинг загрязнения акватории Уссурийского залива в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов г. Владивостока // Материалы всерос. науч. молодеж. конф.-шк. «Проблемы экологии морского шельфа». Владивосток, 16–21 сент. 2010. Владивосток: ДВГУ, 2010. С. 201–203.
18. Brito G.B., de Souza T.L., Bressy F.C. et al. Levels and spatial distribution of trace elements in macroalgae species from the Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil // Mar. Pollut. Bull. 2012. Vol. 64, iss. 10. P. 2238–2244. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.06.022.

19. Bryan G.W. Recent trends in research on heavy-metal contamination in the sea // *Helgoländer Meeresunters.* 1980. Bd. 33. S. 6–25.
20. Fowler S.W. Use of macroalgae as a reference material for pollutant monitoring and specimen banking // *Monitoring environmental materials and specimen banking: Proc. Intern. Workshop.* Hague; Boston; London: Martinus Nijhoff Publ., 1979. P. 247–260.
21. Haug A, Smidrød O. The effect of divalent metals on the properties of alginic solution. II. Comparison of different metal ions // *Acta Chem. Scand.* 1965. Vol. 19. P. 341–351.
22. Hedouin L., Bustamante P., Fichez R., Warnau M. The tropical brown alga *Lobophora variegata* as a bioindicator of mining contamination in the New Caledonia lagoon: a field transplantation study // *Mar. Environ. Res.* 2008. Vol. 66, iss. 4. P. 438–444. DOI: 10.1016/j.marenvres.2008.07.005.
23. Khristoforova N.K., Emelyanov A.A., Efimov A.V. Bioindication of heavy metal pollution in the coastal marine waters off Russkiy Island (Peter the Great bay, Sea of Japan) // *Russian J. Mar. Biol.* 2018. Vol. 44, N 7. P. 572–579.
24. Khristoforova N.K., Kozhenkova S.I. The use of the brown algae *Sargassum* spp. in heavy metal monitoring of marine environment near Vladivostok, Russia // *Ocean Polar Res.* 2002. Vol. 24, N 4. P. 325–329.
25. Kobzar A.D., Khristoforova N.K. Monitoring of pollution of the Rudnaya Bay (Sea of Japan) based on heavy metals content in brown algae // *Russian J. Mar. Biol.* 2019. Vol. 45, N 2. P. 152–158.
26. Malea P., Kevrekidis T. Trace element patterns in marine macroalgae // *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 494/495. P. 144–157.
27. Qari R. Heavy metal concentrations in brown seaweed *Padina pavonia* (L.) and *P. tetrastromatica* at different beaches of Karachi Coast // *Indian J. Geo-Marine Sci.* 2015. Vol. 44 (8). P. 1200–1206.
28. Rainbow P.S. Biomonitoring of trace metals in estuarine and marine environments // *Australas. J. Ecotoxicol.* 2006. Vol. 12. P. 107–122.
29. Strezov A., Nonova T. Monitoring of Fe, Mn, Cu, Pb and Cd levels in two brown macroalgae from the Bulgarian Black Sea coast // *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 2003. Vol. 83, N 12. P. 1045–1054.
30. Viana I.G., Aboal J.R., Fernandez J.A., Real C., Villares R., Carballeira A. Use of macroalgae stored in an Environmental Specimen Bank for application of some European Framework Directives // *Water Res.* 2010. Vol. 44. P. 1713–1724.

С.В. НЕСТЕРОВА, И.Р. ЛЕВЕНЕЦ, Е.Г. РАЕВСКАЯ

Новые находки сосудистых растений на супралиторали острова Попова (залив Петра Великого, Японское море)

Приведены новые сведения о таксономическом составе сосудистых растений трех участков супралиторали на о-ве Попова зал. Петра Великого Японского моря. В июле–сентябре 2019 г. собран гербарий 36 видов, отнесенных к 32 родам и 17 семействам. Шесть видов, найденные на п-ове Ликандера (Дальневосточный морской биосферный заповедник), являются новыми для флоры о-ва Попова (*Argusia sibirica*, *Atriplex patula*, *Calystegia soldanella*, *Equisetum arvense*, *Vicia japonica*, *Thymus komarovii*). Среди них два редких вида. *Argusia sibirica* занесена в Красную книгу Приморского края, *Calystegia soldanella* – в Красную книгу Приморского края и Красную книгу Российской Федерации.

Ключевые слова: супралитораль, сосудистые растения, редкие виды, п-ов Ликандера, о-в Попова, прол. Старка, зал. Петра Великого, Дальневосточный морской биосферный заповедник.

New findings of vascular plants on the Popov Island supralittoral (Peter the Great Bay, the Sea of Japan). S.V. NESTEROVA (Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok), I.R. LEVENETS (A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok), E.G. RAEVSKAYA (Far Eastern Federal University, Vladivostok).

The new data on taxonomic composition of supralittoral vascular plants of the Popov Island, Peter the Great Bay, the Sea of Japan are presented. 36 species from 32 genera and 17 families were recorded on the three inspected sectors of the supralittoral in July–September 2019. Six species found on the Likander Peninsula, Far Eastern Marine Biosphere Reserve are new to the flora of the Popov Island (*Argusia sibirica*, *Atriplex patula*, *Calystegia soldanella*, *Equisetum arvense*, *Vicia japonica*, *Thymus komarovii*). Two species are rare. *Argusia sibirica* is registered in the Red Data Book of the Primorsky Krai (Plants). *Calystegia soldanella* is registered in The Red Data Book of the Primorsky Krai (Plants) and The Red Data Book of the Russian Federation (Plants and fungi).

Key words: supralittoral, vascular plants, rare species, Likander Peninsula, Popov Island, Stark Strait, Peter the Great Bay, Far Eastern Marine Biosphere Reserve.

Высшие растения, обитающие на материковом побережье и островах зал. Петра Великого (ЗПВ) Японского моря в особых экологических условиях, формируют прибрежно-морской галофитный флористический комплекс [6]. Островная флора ЗПВ имеет свою специфику, обусловленную размерами территории, особенностями климата, гидрологическим режимом и степенью изоляции от материка. Флору высших сосудистых растений островов ЗПВ изучали специалисты Дальневосточного государственного университета, академических институтов (БПИ ДВО РАН, БСИ ДВО РАН) и Дальневосточного морского заповедника [1–5, 10, 11–14, 16, 17, 21, 22]. Первое обобщение данных о составе флоры островов ЗПВ, включая острова Дальневосточного морского заповедника, сделано

*НЕСТЕРОВА Светлана Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (Ботанический сад-институт ДВО РАН, Владивосток), ЛЕВЕНЕЦ Ирина Романовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток), РАЕВСКАЯ Екатерина Германовна – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: svnesterova@rambler.ru

Н.С. Пробатовой с соавторами [16], в результате чего выявлен ряд специфических черт островной флоры по сравнению с материковой.

Остров Попова из архипелага Императрицы Евгении находится в 20 км к югу от г. Владивосток и в 0,5 км к юго-западу от о-ва Русский. Площадь острова 12,4 км², высшая точка (158 м) – гора Попова. Остров покрыт в основном лиственным лесом. Ландшафт разнообразен: морские террасы, прибрежные скалы, луга, возвышенности. Береговая линия протяженностью 26 км представляет собой песчаные и галечные пляжи, чередующиеся со скалистыми обрывами. Климат муссонный, с сухой зимой и влажным летом. Зимние ветры, направленные с суши, понижают эффективную температуру и влажность воздуха, летние, с океана, повышают его влажность, частые туманы чередуются с обильными осадками [9, 19]. На острове два поселка – Попова и Старк. Часть территории острова с начала 1980-х годов охраняется как Северный участок Дальневосточного морского биосферного заповедника (рис. 1).

В рамках изучения флористического разнообразия на побережье о-ва Попова в июле–сентябре 2019 г. авторами выполнены сборы сосудистых растений на супралиторали п-ова Ликандера со стороны Амурского (район I) и Уссурийского заливов (район II) – охраняемые участки (рис. 1, 2, А–Г), а также в окрестностях пос. Старк прол. Старка (район III) – неохраемая территория (рис. 1, 2, Д, Е). Собран гербарий из 36 видов (см. таблицу). Названия видов таксонов даны по сводке «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» [18] с уточнениями по источникам [20, 23]. Анализ распространения видов на островах ЗПВ проведен с использованием ранее опубликованных данных [1, 2, 5, 11–14, 16]. В тексте использованы следующие сокращения названий островов ЗПВ: Ант (Антипенко), Аск (Аскольд), Аст (Астафьева), БПел (Большой Пелис), Быч (Бычий), Ве (Веры), Гер (Герасимова), Гил (Гильдебрандта), ДеЛ (Де-Ливрона), Дурн (Дурново), КБут (Камни Бутакова), Кент (кекур «Кентавр»), Клык (Клыкова), Коз (Козлова), Лис (Лисий), Матв (Матвеева), Нау (Наумова), Поп (Попова), Пут (Путятина), Рей (Рейнеке), Реч (Речной), Рик (Рикорда), Рус (Русский), Сер (Сергеева), Сиб (Сибирякова), Сид (Сидорова), Скр (Скребцова), Стен (Стенина), Фал (Фальшивый), Фур (Фуругельма). Гербарные образцы растений переданы в гербарий Ботанического сада-института ДВО РАН (VBGI).

Ранее по данным инвентаризационной сводки Дальневосточного морского биосферного заповедника [1] для Северного участка и сопредельных территорий указывалось 195 видов сосудистых растений. Для флоры бухты Пограничная, омывающей п-ов Ликандера со стороны Уссурийского залива, приводится 41 вид, для полуострова в целом –



Рис. 1. Карта-схема о-ва Попова. Районы исследований: I – п-ов Ликандера, Амурский залив, II – п-ов Ликандера, Уссурийский залив, III – окрестности пос. Старк, прол. Старка. Штриховкой выделена территория Северного участка Дальневосточного морского заповедника

147 видов, для южной части о-ва Попова – 300, для острова в целом – 570 видов, из них 64 инвазивных [1, 16].

В результате наших исследований на о-ве Попова собран гербарий 36 видов, относящихся к 32 родам и 17 семействам (см. таблицу). На супралиторали п-ова Ликандера со стороны Амурского залива (район I) собраны 17 видов (16 родов, 11 семейств), со стороны Уссурийского залива (район II) – 21 вид (20 родов, 13 семейств), на супралиторали прол. Старка в окрестностях пос. Старк (район III) – 7 видов (6 родов, 5 семейств) (см. таблицу).

Состав флоры супралиторали п-ова Ликандера и окрестностей пос. Старк (о-в Попова, зал. Петра Великого)

Семейство	Вид	Район		
		I	II	III
Alliaceae	<i>Allium senescens</i> L.	-	+	-
	<i>A. spirale</i> Willd. ex Schlecht.	-	+	-
Ariaceae	<i>Kitagawia litoralis</i> (Worosch. et Gorovoi) M. Pimen.	-	+	-
	<i>Ligusticum scoticum</i> L.	-	+	+
Asteraceae	<i>Artemisia littorcola</i> Kitam.	-	+	-
	<i>A. japonica</i> Thunb.	+	+	-
	<i>Cirsium vlassovianum</i> Fisch.	-	-	+
	<i>Heteropappus saxomarinus</i> Kom.	+	+	-
	<i>Sonchus arenicola</i> Worosch.	-	+	+
	<i>S. arvensis</i> L.	+	-	-
Boraginaceae	* <i>Argusia sibirica</i> (L.) Dandy	-	+	-
	<i>Mertensia maritima</i> (L.) S.F. Gray	-	+	-
Caryophyllaceae	<i>Dianthus amurensis</i> Jacques	-	+	-
	<i>Honckenya oblongifolia</i> Torr. et Gray	+	+	-
	<i>Sagina japonica</i> (Sw.) Ohwi	-	+	-
	<i>Neoussuria firma</i> (Siebold et Zucc.) Tzvel.	-	-	+
Chenopodiaceae	* <i>Atriplex patula</i> L.	+	-	-
	<i>Salsola komarovii</i> Iljin	+	-	-
Convolvulaceae	* <i>Calystegia soldanella</i> (L.) R. Br. ex Roem. et Schult.	-	+	-
Crassulaceae	<i>Orostachys maximowiczii</i> Byalt	+	+	-
Cyperaceae	<i>Carex pumila</i> Thunb.	+	-	-
Equisetaceae	* <i>Equisetum arvense</i> L.	+	-	-
Fabaceae	<i>Lathyrus japonicus</i> Willd.	+	+	-
	<i>Trifolium arvense</i> L.	+	-	-
	<i>T. campestre</i> Schreb.	+	-	-
	<i>Vicia cracca</i> L.	-	-	+
	* <i>V. japonica</i> A. Gray	+	-	-
Lamiaceae	<i>Scutellaria strigillosa</i> Hemsl.	+	-	-
	* <i>Thymus komarovii</i> Serg.	-	+	-
Papaveraceae	<i>Papaver sokolovskajae</i> Probat.	-	+	-
Plantaginaceae	<i>Plantago camtschatica</i> Link	+	-	-
Poaceae	<i>Festuca rubra</i> L.	-	-	+
	<i>Leymus mollis</i> (Trin.) Pilg.	+	+	+
	<i>Puccinellia hauptiana</i> V. Kresz.	-	+	-
Polygonaceae	<i>Persicaria longiseta</i> (De Bruyn) Kitag.	+	-	-
Scrophulariaceae	<i>Linaria japonica</i> Miq.	-	+	-
Всего: 17	36	17	21	7

*Виды, новые для флоры о-ва Попова.

Примечание. Районы исследований: I – п-ов Ликандера, Амурский залив, II – п-ов Ликандера, Уссурийский залив, III – окрестности пос. Старк, прол. Старка.

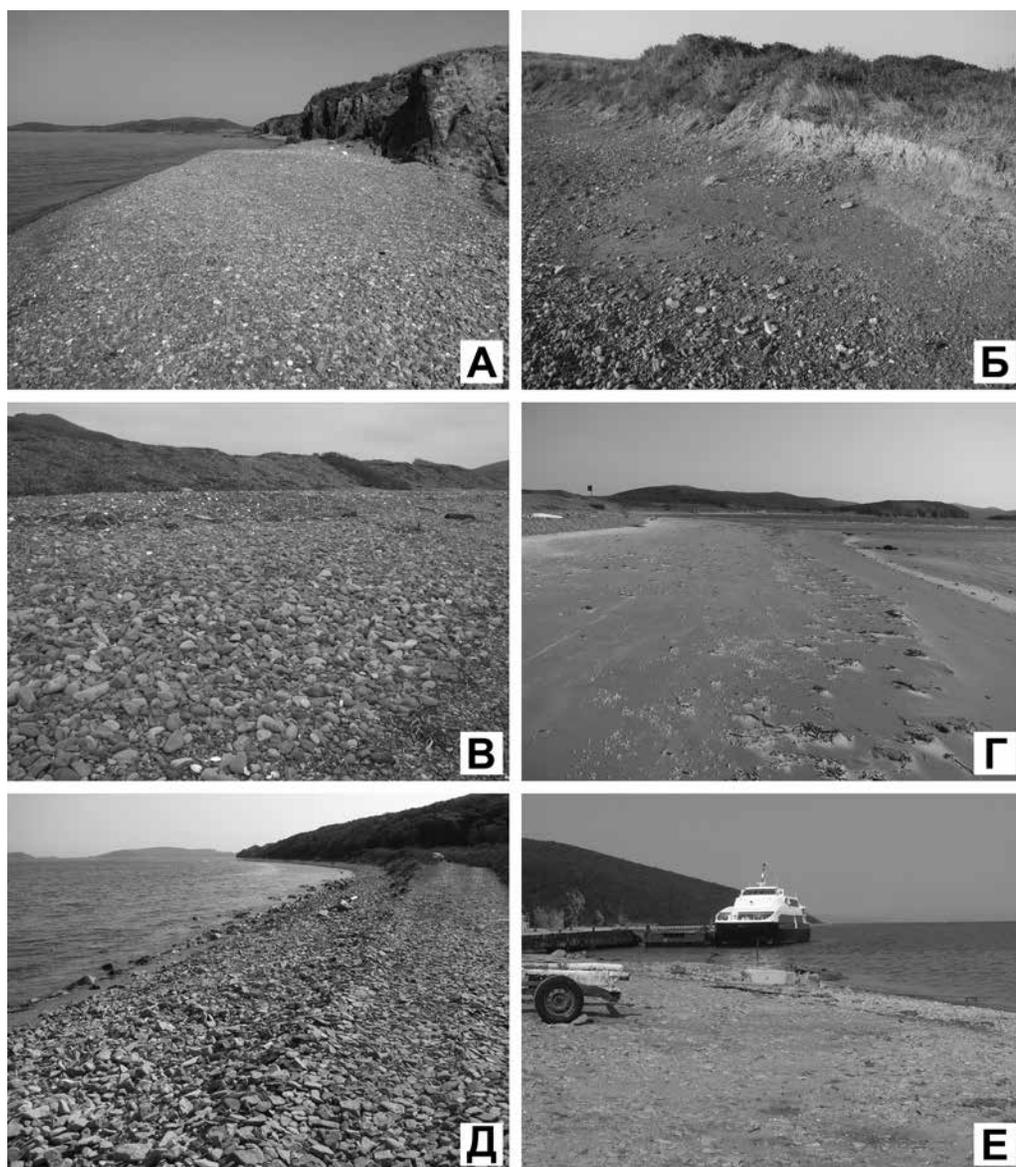


Рис. 2. Супралитораль о-ва Попова: А, Б – район I; В, Г – район II; Д, Е – район III

Большая часть обнаруженных видов широко распространены на островах ЗПВ, в том числе входящих в состав Дальневосточного морского биосферного заповедника.

Allium senescens (лук стареющий), *A. spirale* (лук спиральный): БПел, Гил, ДеЛ, Кент, Матв, Поп, Пут, Рус, Стен, Фал, Фур. *A. senescens* отмечен на Ве, Дурн, Коз, Лис, Сер. *A. spirale* – на Аск.

Kitagawia litoralis (китагавия прибрежная): БПел, ДеЛ, Дурн, Кент, Матв, Поп, Рик, Рус, Фал, Фур.

Ligusticum scoticum (лигустикум шотландский): Ант, Аск, БПел, Быч, Ве, ДеЛ, Дурн, Кент, Клык, Лис, Матв, Нау, Поп, Рей, Рик, Рус, Скр, Стен, Фур.

Artemisia littorcola (полынь прибрежная), *A. japonica* (полынь японская): БПел, ДеЛ, Дурн, Матв, Поп, Пут, Рус, Фур. *A. littorcola* также найдена на Аск, Кент, Рей, Рик, Стен, Сиб, Скр, Фал.

Cirsium vlassovianum (бодяк Власова): Аск, Поп, Рей, Рик, Рус, Стен. Ранее *C. vlassovianum* указывался для флоры о-ва Попова как опушечно-луговой вид [16]. Нами обнаружен в нетипичном местообитании – на супралиторали в окрестностях пос. Старк, на границе галечного пляжа и невысокого берегового вала с *Leymus mollis*.

Heteropappus saxomarinus (гетеропаппус скально-приморский): Аск, Ве, БПел, Дурн, Матв, Поп, Рей, Рик, Рус, Стен, Фур.

Sonchus arenicola (осот песчаный): Ве, БПел, Дурн, Матв, Поп, Пут, Скр, Стен, Фур.

S. arvensis (осот полевой): Аск, БПел, Матв, Поп, Пут, Рик, Рус, Фал.

Argusia sibirica (аргузия сибирская): Фур [1], Рус [13]. Редкий вид со статусом «уяз-

вимый» внесен в Красную книгу Приморского края [7]. На о-ве Попова впервые обнаружен на охраняемой территории: «Владивостокский городской округ. Остров Попова, бухта Пограничная, полуостров Ликандера, песчано-галечниковый берег. LAT = 42.93359°N, LON = 131.73012°E. 20 Aug 2019. Nesterova S.V. ID: 180160/76672» (рис. 3, А).

Mertensia maritima (мертензия приморская): Ве, БПел, ДеЛ, Дурн, Лис, Матв, Поп, Рей, Рус, Стен, Фур.

Dianthus amurensis (гвоздика амурская): Аск, БПел, Ве, ДеЛ, Дурн, Кент, Лис, Матв, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Стен, Фал, Фур.

Honckenya oblongifolia (гонкения продолговатолистная): Аск, БПел, Ве, ДеЛ, Дурн, Кент, Лис, Матв, Нау, Поп, Пут, Рик, Рус, Стен, Фур.

Sagina japonica (мшанка японская): Дурн, КБут, Поп, Пут, Рик, Рус, Фур. На островах ЗПВ встречается довольно редко на галечниках и песках морского берега.

Neoussuria firma (= *Silene firma* Siebold et Zucc., = *Melandrium firmum* (Siebold et Zucc.) Rohrb.) (новоуссурия крепкая): Аск, БПел, Лис, Поп, Пут, Рик, Рус, Фур. Встречается в дубняках и кустарниковых зарослях. Вид обнаружен в нетипичном местообитании – на супралиторали в окрестностях пос. Старк, на границе галечного пляжа и невысокого берегового вала.

Atriplex patula (лебеда поникающая): Рик [12], Рус [11], Скр [16]. Вид не указан для материковой



Рис. 3. Редкие виды, занесенные в Красную книгу Приморского края: А – *Argusia sibirica* (L.) Dandy (аргузия сибирская), Б – *Calystegia soldanella* (L.) R. Br. ex Roem. et Schult. (повой сольданелловый)

части и островов Дальневосточного морского заповедника [1]. Нами обнаружен на охраняемой части о-ва Попова: «Владивостокский городской округ. Остров Попова, полуостров Ликандера, побережье Амурского залива, граница песчано-галечникового пляжа и основания прибрежного склона. LAT = 42.935833°N, LON = 131.72333°E. 29 Sep 2019. Levenets I.R., Raevskaya E.G.».

Salsola komarovii (солянка Комарова): БПел, ДеЛ, Дурн, Матв, Поп, Пут, Рик, Рус, Скр, Фал, Фур.

Calystegia soldanella (повой сольданелловый): указан только для БПел, Фал, Фур [1]. На охраняемой территории о-ва Попова вид обнаружен впервые: «Владивостокский городской округ. Остров Попова, бухта Пограничная, полуостров Ликандера, песчано-галечниковый берег. LAT = 42.93359°N, LON = 131.73012°E. 20 Aug 2019. Nesterova S.V. ID: 180156/76671» (рис. 3, Б). Редкий вид, со статусом «низкая степень риска» внесен в Красную книгу Приморского края [7], со статусом «редкий вид» – в Красную книгу Российской Федерации [8].

Orostachys maximowiczii (горноколосьник Максимовича): Аск, БПел, Гил, ДеЛ, Дурн, Кент, Матв, Поп, Рей, Рик, Рус, Стен, Фал.

Carex pumila (осока низкая): БПел, Поп, Пут, Рик, Рус, Фал, Фур.

Equisetum arvense (хвощ полевой): Аск, Ве, БПел, Лис, Пут, Рей, Рик, Рус, Стен, Фал, Фур. Обычен как сорное растение на лугах, по берегам рек, на песчаных и галечниковых отмелях. Данный вид не приводится для флоры о-ва Попова. Нами встречен на побережье Амурского залива: «Владивостокский городской округ. Остров Попова, полуостров Ликандера, побережье Амурского залива, нижняя часть склона прибрежной террасы. LAT = 42.935833°N, LON = 131.72333°E. 29 Sep 2019. Levenets I.R., Raevskaya E.G.».

Lathyrus japonicus (чина японская): Аск, Ве, БПел, ДеЛ, Гил, Дурн, Кент, Коз, Лис, Матв, Нау, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Стен, Фур.

Trifolium arvense (клевер пашенный): Аск, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус.

T. campestre (клевер полевой): Аск, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Фал, Фур.

Vicia cracca (горошек мышиный): Аск, БПел, Лис, Поп, Стен, Пут, Рей, Рик, Рус, Фал, Фур.

V. japonica (горошек японский) не указан для островов ЗПВ. Прибрежно-морской вид, встречается на морских берегах и скалах, травянистых и каменистых склонах вдоль юго-восточного побережья Приморского края [15]. В зал. Петра Великого обнаружен нами впервые на о-ве Попова – «Владивостокский городской округ. Остров Попова, полуостров Ликандера, Амурский залив, морская терраса, нижняя часть склона. LAT = 42.935833°N, LON = 131.72333°E. 29 Sep 2019. Levenets I.R., Raevskaya E.G.»). В настоящее время это самая южная точка распространения *V. japonica* в Приморском крае.

Scutellaria strigillosa (шлемник щетинковый): Аск, Ве, БПел, ДеЛ, Дурн, Матв, Фал, Фур, Поп, Пут, Рей, Реч, Рик, Рус.

Thymus komarovii (тимьян Комарова): Аск, БПел, Дурн, Матв, Рус. Вид не указан для острова Попова. Собран в бухте Пограничная – «Владивостокский городской округ. Остров Попова, бухта Пограничная, полуостров Ликандера, галечниковый пляж, в основании морской террасы. LAT = 42.93359°N, LON = 131.73012°E. 20 Aug 2019. Nesterova S.V. ID: 180156/76671».

Papaver sokolovskajae (мак Соколовской): Поп, Клык, Рей, Рус.

Plantago camtschatica (подорожник камчатский): Аск, Ве, БПел, Гил, Дурн, Лис, Матв, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Скр, Стен, Фал, Фур.

Festuca rubra (овсяница красная): Аск, Ве, БПел, Дур, Кент, Матв, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Стен, Фал, Фур.

Leymus mollis (колосняк мягкий): Ве, БПел, ДеЛ, Гил, Дурн, Лис, Матв, Нау, Поп, Пут, Рей, Рик, Рус, Скр. Стен, Фал, Фур.

Rusciniella hauptiana (бескильница Гаупта): Аск, Поп, Пут, Рей, Рус, Скр.

Persicaria longiseta (горец длиннощетинковый): Аск, Поп, Пут, Фал, Фур, Рус.

Linaria japonica (льнянка японская): Аск, БПел, Ве, Гил, ДеЛ, Дурн, Кент, Лис, Матв, Поп, Пут, Рус, Стен, Фал, Фур.

Для охраны характерных и редких видов островной флоры ЗПВ сотрудники БПИ ДВО РАН предлагали присвоить статус «Ботанический памятник» десяти местообитаниям на о-ве Попова [16, 17], где были отмечены своеобразные и уникальные популяции и сообщества растений, в том числе редких видов на супралиторали прол. Старка: *Puccinellia nipponica* Ohwi, *P. kurilensis* (Takeda) Honda, *Festuca vorobievii* Probat., *Astragalus marinus* Boriss., *Potentilla pacifica* Howell и др. Только на о-ве Попова в окрестностях бухты Пограничная известно единственное на Дальнем Востоке России местообитание *Centunculus minimus* (Primulaceae) [16]. К сожалению, это предложение не было оформлено на законодательном уровне.

Таким образом, на обследованных участках супралиторали о-ва Попова собраны гербарные образцы 36 видов сосудистых растений, отнесенных к 32 родам и 17 семействам. На супралиторали наиболее часто встречаются типичные прибрежно-морские галофиты – *Kitagawia litoralis*, *Ligusticum scoticum*, *Artemisia japonica*, *A. littoricola*, *Mertensia maritima*, *Honckenya oblongifolia*, *Leymus mollis*, *Linaria japonica* и др. В числе выявленных есть предпочитающие каменисто-щебнистые местообитания виды – *Allium senescens*, *A. spirale*, *Heteropappus saxamarinus*, *Dianthus amurensis* и др. Обнаружены нетипичные для супралиторали – *Neoussuria firma*, *Cirsium vlassovianum* и адвентивные виды, обычные для островов ЗПВ, – *Sonchus arenicola*, *S. arvensis*, *Trifolium arvense*, *T. campestre*.

В результате анализа распространения на островах ЗПВ видов, собранных на супралиторали о-ва Попова, для его флоры выявлено шесть новых видов: *Argusia sibirica*, *Atriplex patula*, *Calystegia soldanella*, *Equisetum arvense*, *Thymus komarovii*, *Vicia japonica*. *A. sibirica* – редкий вид, внесен в Красную книгу Приморского края [7]. *C. soldanella* – редкий вид, внесен в Красную книгу Российской Федерации [8] и Красную книгу Приморского края [7].

На о-ве Попова зарегистрирована самая южная точка распространения *V. japonica* в Приморском крае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дальневосточный морской биосферный заповедник. Биота. Т. 2 / отв. ред. А.Н. Тюрин, ред. А.Л. Дроздов. Владивосток: Дальнаука, 2004. 848 с.
2. Денисов Н.И. Дополнение к флоре сосудистых растений острова Козлова (залив Петра Великого, Японское море) // *Turczaninowia*. 2008. Т. 11, вып. 4. С. 29–42.
3. Денисов Н.И. К флоре сосудистых растений острова Моисеева (залив Петра Великого, Японское море) // *Turczaninowia*. 2005. Т. 8, вып. 2. С. 22–29.
4. Денисов Н.И. К флоре сосудистых растений острова Попенберген залива Новик остров Русский, залив Петра Великого, Японское море) // *Turczaninowia*. 2011. Т. 14, вып. 1. С. 61–64.
5. Денисов Н.И. К флоре сосудистых растений острова Сергеева (залив Петра Великого, Японское море) // *Turczaninowia*. 2007. Т. 10, вып. 2. С. 12–17.
6. Киселёва А.Г. Галофитный прибрежно-морской флористический комплекс сосудистых растений Приморского края (Японское море) // Науч. обозрение. Биол. науки. 2019. № 1. С. 35–40.
7. Красная книга Приморского края: Растения (редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов). Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. 688 с.
8. Красная книга Российской Федерации (Растения и грибы) / МПР РФ; Росприроднадзор; РБО; МГУ им. М.В. Ломоносова / гл. редкол.: Ю.П. Трутнев и др.; сост. Р.В. Камелин и др. / Т.И. Варлыгина, Р.В. Камелин, К.В. Киселева и др. Москва: КМК, 2008. 855 с.
9. Лоция Японского моря: Северо-западная часть моря от реки Тюмень-Ула до мыса Белкина. Ч. 1. Л.: [б.и.], 1972. 287 с.
10. Мигин К.В., Чубарь Е.А. Островной ботанический сад и охрана генофонда редких видов растений в морском заповеднике // Современное состояние и перспективы научных исследований в заповедниках Сибири: тез. докл. Всесоюз. совещ., Новосибирск, 26–28 августа 1986 г., Новосибирск, 1986. С. 94–95.
11. Недолужко В.А., Добрынин А.П. Растительный покров острова Рикорда в заливе Петра Великого (Японское море) // Тр. Ботан. садов ДВО РАН. 1999. Т. 1. С. 173–192.

12. Недолужко В.А., Павлова Н.С., Баранов В.И., Роднова Т.В., Добрынин А.П. Сосудистые растения острова Аскольд (Японское море, залив Петра Великого) // Тр. Ботан. садов ДВО РАН. 1999. Т. 1. С. 122–135.
13. Недолужко В.А., Денисов Н.И. Флора сосудистых растений острова Русский (залив Петра Великого в Японском море). Владивосток: Дальнаука, 2001. 98 с. (Тр. Ботан. садов ДВО РАН / гл. ред. В.А. Недолужко; Т. 4).
14. Нечаев В.А. Сосудистые растения острова Лисий (залив Петра Великого, Японское море) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2017. № 2 (11). С. 86–97.
15. Павлова Н.С. Бобовые – Fabaceae Lindl. // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 4. Л.: Наука, 1989. С. 191–338.
16. Пробатова Н.С., Седедец В.П., Недолужко В.А., Павлова Н.С. Сосудистые растения островов залива Петра Великого в Японском море (Приморский край). Владивосток: Дальнаука, 1998. 116 с.
17. Седедец В.П. Растительный покров памятников природы на островах залива Петра Великого (Приморский край) // Биол. иссл. на островах северной части Тихого океана. 2000. № 4. С. 1–72.
18. Сосудистые растения советского Дальнего Востока / отв. ред. С.С. Харкевич. Л., СПб.: Наука, 1985–1996. Т. 1–8.
19. Туркень В.Г. Микроклимат муссонной зоны Дальнего Востока. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. 96 с.
20. Флора российского Дальнего Востока: Дополнения и изменения к изданию «Сосудистые растения советского Дальнего Востока». Т. 1–8 (1985–1996) / отв. ред. А.Е. Кожевников, Н.С. Пробатова. Владивосток: Дальнаука, 2006. 456 с.
21. Чубарь Е.А. Адвентивные виды в составе флоры островов Дальневосточного морского заповедника // Материалы IX Дальневост. конф. по заповедному делу, Владивосток, 20–22 окт. 2010 г. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 460–464.
22. Чубарь Е.А., Недолужко В.А. Дополнение к флоре островов залива Петра Великого (Японское море) // Ботан. журн. 2001. Т. 86, № 3. С. 125–132.
23. The Plant List a working list of all plants species. – <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения: 24.12.2019)..

В.Б. ДОКУЧАЕВА, Н.Е. ДОКУЧАЕВ

Обнаружение ржавчинного гриба *Chrysomyxa woronini* Tranzsche в искусственных посадках елей на территории Магаданской области

Ржавчинный гриб Chrysomyxa woronini в Магаданской области ранее отмечался лишь на сибирской ели (Picea obovata) в бассейне р. Яма. В 2015 г. он впервые был обнаружен на елях искусственных насаждений в окрестностях г. Магадан. В настоящее время Ch. woronini отмечен лишь на одном из пяти обследованных участков с посадками елей. Территория, охваченная данным видом ржавчины, составляет примерно 5000 м². Этот фитопатогенный гриб пока не причиняет серьезного вреда культурам елей в Магаданской области, но нужны мониторинговые исследования.

Ключевые слова: ржавчинный гриб, Chrysomyxa woronini, ель, искусственные посадки, Магаданская область.

Detection of the rust fungus *Chrysomyxa woronini* Tranzschel in artificial planting of spruce trees in the Magadan Region territory. V.B. DOKUCHAEVA, N.E. DOKUCHAEV (Institute of Biological Problems of the North, FEB RAS, Magadan).

The rust fungus Chrysomyxa woronini in the Magadan Region was previously observed only on Siberian spruce (Picea obovata) in the Yama River basin. In 2015 it was discovered for the first time on artificial spruce plantations in the vicinities of Magadan city. Currently Ch. woronini is observed only in one of the five surveyed sites of artificial plantings. The area affected by this type of rust is approximately 5,000 sq. m. For the present this phytopathogenic fungus does not cause serious harm to the spruce plantations in Magadan region, but monitoring is needed.

Key words: rust fungus, Chrysomyxa woronini, spruce, wood plantings, Magadan Region.

На территории Магаданской области в естественном состоянии представлена только ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) [7–10, 18, 21, 22]. Отстоящий на 700 км от основного ареала вида участок «Ямский еловый остров» находится в бассейне р. Яма на территории заповедника «Магаданский» [17, 19]. Небольшие по площади участки с елью сибирской встречаются также на других реках Ямской низменности и Кони-Пьягинского «выступа» [10, 15, 16, 18, 21]. Имеются указания на былое произрастание елей и в других местах северной части Охотского побережья, в частности у пос. Ола [11, 23]. К «ольской» группировке могла принадлежать и 360-летняя ель, росшая в окрестностях Магадана и срубленная в конце декабря 1940 г. [21]. Видовая принадлежность этих елей осталась неизвестной.

В 1972–1981 гг. в окрестностях Магадана лесхозом проводились искусственные посадки елей. К настоящему времени сохранилось несколько таких участков. Обследование показало, что в основном в посадках представлены ели, которые могут быть отнесены к ели европейской – *P. abies* (L.) Н. Karst., ели сибирской или их гибридам, и лишь в пос.

ДОКУЧАЕВА Вера Борисовна – научный сотрудник, *ДОКУЧАЕВ Николай Евгеньевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан). *E-mail: dokuchaev@ibpn.ru

Снежная Долина на территории бывшей Лесной опытной станции в посадках представлены три вида елей – *P. abies*, *P. obovata* и аянская – *P. ajanensis* Fisch. ex Carr. [12, 13].

Для Магаданской области имеются данные о ржавчинных грибах на елях лишь естественного произрастания в бассейне р. Яма. Таковых два вида: *Chrysomyxa woronini* Tranzschel и *Pucciniastrum areolatum* (Fr.) G.H. Otth [1, 4–6, 20].

Ржавчинный гриб *Ch. woronini* относится к классу Urediniomycetes, семейству Coleosporiaceae. Его панбореальный ареал охватывает северные и субальпийские регионы Евразии и Северной Америки [2, 14]. На Дальнем Востоке он встречается в Магаданской области (на сибирской ели в бассейне р. Яма), на Камчатке, Курильских островах и о-ве Сахалин, в Приморском и Хабаровском краях [1, 3–6]. В окрестностях Магадана данный гриб ранее не отмечался.

При поражении грибом концы ветвей с укороченной, покрытой эциями хвоей принимают форму оранжевых или ярко-желтых «шишечек», резко выделяющихся на фоне зеленой хвои (рис. 1).

Цель исследования – оценка распространенности и негативных последствий от появления данного фитопатогенного гриба в искусственных посадках елей в окрестностях г. Магадан.

Материал и методы

Искусственные насаждения елей нами обследуются ежегодно начиная с 2002 г. В первый раз ржавчинный гриб *Ch. woronini* обнаружен в 2015 г. в окрестностях пос. Снежная Долина (20 км севернее Магадана), им были поражены лишь одиночные молодые деревья. От ельников в бассейне р. Яма данный участок находится на удалении 160 км. В 2017 г. установлено, что территория, охваченная данным видом гриба, расширилась. В 2018 г. найдены кусты багульника *Ledum palustre* L. с признаками ржавчины, а с елей взяты «шишечки» для исследования морфологии и размера спор гриба. Препараты эцидиоспор исследовали с помощью микроскопа Axio Imager D1 при увеличении $\times 100$. Всего на наличие *Ch. woronini* обследовано пять участков с культурами елей. Дополнительно к выделенным нами ранее [13] осмотрены также посадки на левобережье р. Дукча в ее нижнем течении (напротив аэропорта «Магадан–13-й километр»).

Результаты и обсуждение

У пораженных грибом *Ch. woronini* молодых елей из концевых почек развиваются укороченные побеги с укороченной хвоей. На молодой хвое образуются эцидии гриба, в зависимости от стадии развития на верхней стороне хвоинок они были представлены в виде отдельных пузыревидных подушечек с ненарушенным перидием. В то же время на нижней стороне хвоинок эцидии занимали практически всю их длину и были продольно вскрыты (рис. 2). При сотрясении веток споры высыпались и разносились потоками воздуха. Исследование спор показало, что они полностью подходят под описание эцидиоспор *Ch. woronini* как по размерам, так и структуре покровов (рис. 3). К сентябрю «шишечки» сохли, но оставались на ветках елей (рис. 4).

Участок с посадками елей, где обнаружены пораженные *Ch. woronini* деревья, расположен на левобережье р. Дукча, в нижней части террасированного склона ($5\text{--}10^\circ$) юго-западной экспозиции. Сформировавшийся здесь древостой представляет собой фрагментарное чередование площадей с различным участием лиственниц и елей, местами с незначительной примесью березы каменной (*Betula lanata* (Regel) V.N. Vassil). На большей площади преобладает лиственничный древостой из *Larix cajanderi* Mayr разного возраста и высоты. Общая сомкнутость крон 0,6–0,8. Верхний ярус составляют лиственницы высотой 8–9 м, нижний – 3–4-метровые деревья. Обилен лиственничный подрост высотой 0,5–2 м. Ели в



Рис. 1. Концевые части веток ели, пораженные ржавчинным грибом *Ch. woronini* (8 июля 2015 г.). *Здесь и далее фото Н.Е. Докучаева*



Рис. 2. Характер расположения эцидий *Ch. woronini* на верхней и нижней сторонах хвоинок в «шишечке» (8 июля 2015 г.).

составе небольших групп и отдельных деревьев в основном представлены елью европейской, также есть экземпляры ели сибирской и особи гибридного происхождения.

В зависимости от складывающихся микроклиматических условий деревья ели значительно различаются по высоте и толщине стволов. В местах с лучшим увлажнением и трофностью почвы участие ели в древостое возрастает. На террасовидных выположенных площадках, где происходит накопление влаги и питательных веществ, ель иногда выполняет даже эдифицирующую роль. Здесь формируется еловый фитоценоз с густым покровом из голубики. В подлеске развивающегося фитоценоза преобладает *Betula middendorffii* Trautv. et C.A. Mey (до 2 м высотой, покрытие 40–50 %), также участвуют *Pinus pumila* (Pall.) Regel (1,5–2 м, покрытие 20–30 %), местами *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar, *Sorbus sambucifolia* (Cham. et Schltl.) M. Roem., встречаются небольшие кусты *Spiraea betulifolia* Pall., отмечены единичные ивы (*Salix hastata* L., *S. krylovii* E.L. Wolf). В травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие 60 %) обычны *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *V. vitis-idaea* L., *Empetrum nigrum* L. Sol., *Carex globularis* L. и др. [13]. Жизненное состояние основной части насаждений хорошее, некоторые ели регулярно плодоносят.

Ch. woronini – разнохозяйный ржавчинный гриб. Эциостадия гриба развивается на ели, телиостадия – на багульнике. Урединии у *Ch. woronini* отсутствуют [3, 5]. Как следует из геоботанического описания, на территории с пораженными ржавчиной елями представлен багульник *Ledum palustre*. Осмотр его кустов показал наличие на некоторых листьях телий *Ch. woronini*. Согласно З.М. Азбукиной [3, 5, 6], телии гриба развиваются на нижней стороне листьев багульника, проявляясь в виде желтых или красновато-желтых пятен на верхней стороне листьев.



Рис. 3. Эцидоспоры *Ch. woronini* (11 июля 2018 г.).



Рис. 4. Ветка ели с усохшими «шишечками» (5 сентября 2018 г.).

Ржавчина, вызванная *Ch. woronini*, – очень вредоносное заболевание ели. Оно неблагоприятно отражается на физиологическом состоянии деревьев, в особенности на подросте, вызывая многовершинность или суховершинность. Гриб может поражать и молодые шишки [5]. Сильное поражение данным грибом ели аянской отмечалось на Камчатке. Там в Мильковском районе в конце июня 1960 г. зараженность молодых побегов текущего года подроста достигала 10 % [6].

В настоящее время в окрестностях Магадана гриб *Ch. woronini* отмечен лишь на одном из пяти обследованных нами участков посадок елей. Территория с пораженными грибом *Ch. woronini* елями составляет примерно 5000 м² и остается в этих пределах последние три года.

Судя по всему, на территории Магаданской области *Ch. woronini* не причиняет серьезного вреда культурам елей, поскольку им поражаются лишь единичные побеги текущего года у незначительной части деревьев. Однако неизвестно, как поведет себя этот гриб в дальнейшем. Для выяснения этого необходимы мониторинговые исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азбукина З.М., Ивлиев Л.А. Грибные болезни и вредные насекомые ели сибирской на крайнем северо-восточном пределе ее ареала в Магаданской области // Науч. тр. Бурятского и Приморского сельхоз. ин-тов. Лесное хозяйство. Улан-Удэ, 1970. Т. 5, вып. 2. С. 91–107.
2. Азбукина З.М., Каратыгин И.В. Мелампсориодная группа ржавчинных грибов в России: таксономические ревизии последних лет // Микология и фитопатология. 2010. Т. 44, вып. 3. С. 177–196.
3. Азбукина З.М. Определитель ржавчинных грибов советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1984. 288 с.
4. Азбукина З.М. Порядок Ржавчинные. 1. Семейства Пукциниастровые, Кронарциевые, Мелампсоровые, Факопсоровые, Чаковиевые, Микронегериевые. Владивосток: Дальнаука, 2015. 281 с. (Определитель грибов России).
5. Азбукина З.М. Ржавчинные грибы. Владивосток: Дальнаука, 2005. 616 с. (Низшие растения, грибы и мохообразные Дальнего Востока России. Грибы. Т. 5).
6. Азбукина З.М. Ржавчинные грибы Дальнего Востока. М.: Наука, 1974. 527 с.
7. Андриянова Е.А., Мочалова О.А. О распространении и семеношении ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в Ямском «еловом острове» на юге Магаданской области // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2012. № 3. С. 32–35.
8. Булычев И. Путешествие по восточной Сибири. Ч. 1. Якутская область, Охотский край. СПб.: РАН, 1856. 298 с.
9. Васильев В.Н. Древесные породы Охотско-Колымского края // Колыма. 1939. № 3. С. 85–88.
10. Васильев В.Н. Сибирская ель (*Picea obovata* Ldb.) на севере Охотского побережья // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1945. Т. 77, вып. 5. С. 293–298.
11. Докучаев Н.Е. Любопытные факты о растениях и животных Северо-Восточной Азии // Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока России: Материалы Дальневост. регион. конф., посвящ. памяти А.П. Васильевского и в честь его 100-летия, Магадан, 22–24 ноября 2011 г. Магадан: СВНЦ РАН, 2011. С. 123.
12. Докучаева В.Б., Докучаев Н.Е. Виды елей в посадках в окрестностях г. Магадан // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 5. С. 78–82.
13. Докучаева В.Б., Докучаев Н.Е. Состояние посадок елей в окрестностях г. Магадана // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 4. С. 67–75.
14. Купревич В.Ф., Траншель В.Г. Флора споровых растений СССР. Том. 4. Ржавчинные грибы. Вып. 1. Сем. Мелампсоровые. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 420 с.
15. Мочалова О.А., Андриянова Е.А. Об изолированных местонахождениях ели *Picea obovata* (Pinaceae) на Северо-Востоке Азии // Ботан. журн. 2004. Т. 89, № 12. С. 1823–1839.
16. Мочалова О.А. О новом местонахождении *Picea obovata* (Pinaceae) на Крайнем Северо-Востоке Азии // Ботан. журн. 1996. Т. 81, № 12. С. 126–132.
17. Мочалова О.А., Хорева М.Г., Лысенко Д.С., Беркутенко А.Н., Андриянова Е.А. Сосудистые растения // Растительный и животный мир заповедника «Магаданский». Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. С. 55–69.
18. Науменко З.М. *Picea obovata* Ldb. на крайнем северо-восточном пределе своего ареала // Ботан. журн. 1964. Т. 49, вып. 7–12. С. 1008–1013.
19. Полежаев А.Н., Докучаева В.Б. Растительность // Растительный и животный мир заповедника «Магаданский». Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. С. 70–87.
20. Сазанова Н.А., Мочалова О.А., Благовещенская Е.Ю. Находка фитопатогенного гриба *Pucciniastrum areolatum* (Fr.) G.H. Oth в заповеднике «Магаданский» (север Дальнего Востока) // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 2. С. 36–42.
21. Стариков Г.Ф. Леса Магаданской области. Магадан: Кн. изд-во, 1958. 224 с.
22. Стариков Г.Ф. Леса северной части Хабаровского края (низовье Амура и Охотское побережье). Хабаровск: Кн. изд-во, 1961. 208 с.
23. Allen J.A. Report of the mammals collected in Northeastern Siberia by the Jesup. North Pacific Expedition, with itinerary and field notes by N.G. Buxton // Bul. Am. Mus. Nat. Hist. 1903. Vol. 19, art. 4. P. 101–184.

Р.Б. ШАКИРОВ, Н.С. ЛИ, А.И. ОБЖИРОВ, М.Г. ВАЛИТОВ,
В.Т. СЪЕДИН, Ю.А. ТЕЛЕГИН, З.Н. ПРОШКИНА, А.К. ОКУЛОВ,
А.В. СТОРОЖЕНКО, М.В. ИВАНОВ, Д.А. ШВАЛОВ,
А.А. ЛЕГКОДИМОВ, А.И. ЕСЬКОВА, Н.А. ЛИПИНСКАЯ,
М.А. БОВСУН, Д.С. МАКСЕЕВ, В.Ю. КАЛГИН, Т.С. ЯКИМОВ,
НГУЕН ЧУН ТХАНЬ, ЛЕ ДЫК АНЬ

Комплексная российско-вьетнамская геолого-геофизическая и океанографическая экспедиция в Южно-Китайское море (НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс 88, 2019 г.)

В ноябре 2019 г. в Южно-Китайском море (исключительная экономическая зона СРВ) впервые за последние 30 лет была проведена крупная комплексная геолого-геофизическая совместная экспедиция ТОИ ДВО РАН и Вьетнамской академии наук и технологий (88-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев»). Области изучения – геофизика, геология, гидроакустика, газогеохимия, гидрооптика, геомикробиология, палеогеография и гидрология. В толще вод и донных отложениях впервые обнаружены газогеохимические аномалии, сравнимые с аномалиями над нефтегазоносным шельфом о-ва Сахалин. Впервые в районе исследований выявлены геомикробиологические индикаторы углеводородных скоплений. Уточнены рельеф, геофизические поля, гидрологическая структура, особенности седиментации, палеогеографии и минералогии континентального шельфа Вьетнама

*ШАКИРОВ Ренат Белалович – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, ЛИ Наталья Сергеевна – научный сотрудник, ОБЖИРОВ Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ВАЛИТОВ Максим Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, СЪЕДИН Владимир Тимофеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ТЕЛЕГИН Юрий Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ПРОШКИНА Зоя Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ОКУЛОВ Алексей Константинович – научный сотрудник, СТОРОЖЕНКО Андрей Викторович – научный сотрудник, ИВАНОВ Максим Владимирович – научный сотрудник, ШВАЛОВ Дмитрий Александрович – научный сотрудник, ЛЕГКОДИМОВ Алексей Александрович – старший инженер, ЕСЬКОВА Алена Игоревна – научный сотрудник, ЛИПИНСКАЯ Надежда Александровна – старший инженер, МАКСЕЕВ Даниил Сергеевич – старший инженер, КАЛГИН Владислав Юрьевич – инженер, ЯКИМОВ Тимур Сергеевич – старший инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), НГУЕН ЧУН ТХАНЬ – заведующий отделом седиментологии и минералогии, ЛЕ ДЫК АНЬ – научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой). *E-mail: ren@poi.dvo.ru

Работа выполнена в рамках Госзадания ТОИ ДВО РАН (№ АААА-А17-117030110035-4, АААА-А19-119122090009-2, АААА-А17-117030110032-3, АААА-А17-117030110042-2, АААА-А17-117030110033-0, АААА-А17-117030110040-8, АААА-А17-117030110037-8) при финансовой поддержке грантов РФФИ 18-05-00153, Комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы № 20-ВАНТ-010, 18-1-008, 19-019 и проектов ВАНТ (VAST QTRU 02.02/20-21, QTRU 02.05/19-20 и QTRU 02.03/19-20).

и прилегающих глубоководных бассейнов. Предложено выделить тонкодисперсные карбонатно-глинистые осадочные отложения в самостоятельный минеральный ресурс. Выявлены районы, перспективные для поисков новых залежей нефти и газа, газогидратов, скопленений железно-марганцевых образований и др. Более 70 % научного состава экспедиции составляли молодые ученые.

Ключевые слова: Южно-Китайское море, Вьетнам, метан, гравиметрия, магнитометрия, осадки, минеральные ресурсы, бактерии, молодые ученые.

Integrated Russian-Vietnamese geological-geophysical and oceanographic expedition in the South China Sea (R/V “Akademik M.A. Lavrentyev”, cruise 88, 2019). R.B. SHAKIROV¹, N.S. LEE¹, A.I. OBZHIROV¹, M.G. VALITOV¹, V.T. SEDIN¹, Yu.A. TELEGIN¹, Z.N. PROSHKINA¹, A.K. OKULOV¹, A.V. STOROZHENKO¹, M.V. IVANOV¹, D.A. SHVALOV¹, A.A. LEGKODIMOV¹, A.I. ESKOVA¹, N.A. LIPINSKAYA¹, M.A. BOVSUN^{1,2}, D.S. MAKSEEV¹, V.Yu. KALGIN¹, T.S. YAKIMOV¹, NGUYEN TRUNG THANH³, LE DUC ANH³ (V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, ²Far Eastern Federal University, Vladivostok, ³Institute of Marine Geology and Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam).

In November 2019, for the first time in 30 years, an integrated geological and geophysical joint expedition of the POI FEB RAS and the Vietnamese Academy of Science and Technology was carried out in the South China Sea (EEZ Vietnam) (88 cruise of the R/V “Akademik M.A. Lavrentyev”). The set of methods consisted of geophysics, geology, hydroacoustics, gasgeochemistry, hydrooptics, geomicrobiology, paleogeography and hydrology. Gasgeochemical anomalies were found in the water column and bottom sediments, comparable with the anomalies over the oil and gas deposits along the Sea of Okhotsk shelf of Sakhalin Island. For the first time in the study area, deep water geomicrobiological indicators of hydrocarbon accumulations have been identified. The relief, geophysical fields, hydrological structure, features of sedimentation, paleogeography and mineralogy of the continental shelf of Vietnam and the adjacent deep sea basins are refined. Finely dispersed carbonate-clay sediments were proposed as a new mineral resource.

Areas that are promising for the search for new deposits of oil and gas, gas hydrates, accumulations of iron-manganese formations, and others are identified. Young scientists occupied more than 60 % of the scientific expedition staff.

Key words: South China Sea, Vietnam, methane, gravimetry, magnetometry, sediments, mineral resources, bacteria, young scientists.

В перекрестный 2019 год дружбы России во Вьетнаме и Вьетнама в России ТОИ ДВО РАН провел первую крупную за последние 30 лет комплексную геолого-геофизическую и океанографическую экспедицию в Южно-Китайское море с 25 октября по 8 декабря. Это дало возможность выявить особенности межсезонной изменчивости параметров окружающей среды привьетнамского шельфа и склона до глубин моря 2400 м. Основанием для проведения экспедиции были план морских экспедиционных исследований РАН на 2019 г., разрешение Министерства природных ресурсов и окружающей среды (МПР) СРВ, разрешение МИД РФ, план-программа экспедиционных исследований ТОИ ДВО РАН – ИМГиГ ВАНТ, приказ на экспедицию ТОИ ДВО РАН, Дорожная карта совместных морских исследований ДВО РАН и Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ) и Соглашение на проведение совместной экспедиции ТОИ ДВО РАН – Институт морской геологии и геофизики ВАНТ.

В последние годы научные организации Вьетнама предпринимают значительные усилия для развития морских исследований, направленных на поиски и оценку запасов минеральных ресурсов, включая альтернативные (газогидраты). В рамках программ Министерства наук и технологий (МНТ) и МПР проводятся конкурсы крупных национальных проектов, впоследствии активно поддерживаемых правительством. Сложность выполнения этих проектов для коллег заключается в отсутствии научно-исследовательского флота, недостатке оборудования, методов. В таких условиях сотрудничество с российскими научно-исследовательскими институтами и выполнение морских экспедиций на судах ДВО РАН – оптимальные решения для реализации национальных научных интересов Вьетнама на море, это способствует возобновлению совместных регулярных морских исследований. Экспедиция на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 88-м рейсе (рис. 1) стала важным событием для ДВО РАН и ВАНТ в познании морской геологии и геофизики, океанографии и экологии юго-западной части Тихого океана.

Целями экспедиции были изучение особенностей геологического строения и геофизических полей континентального шельфа и склона Вьетнама, исследование океано-

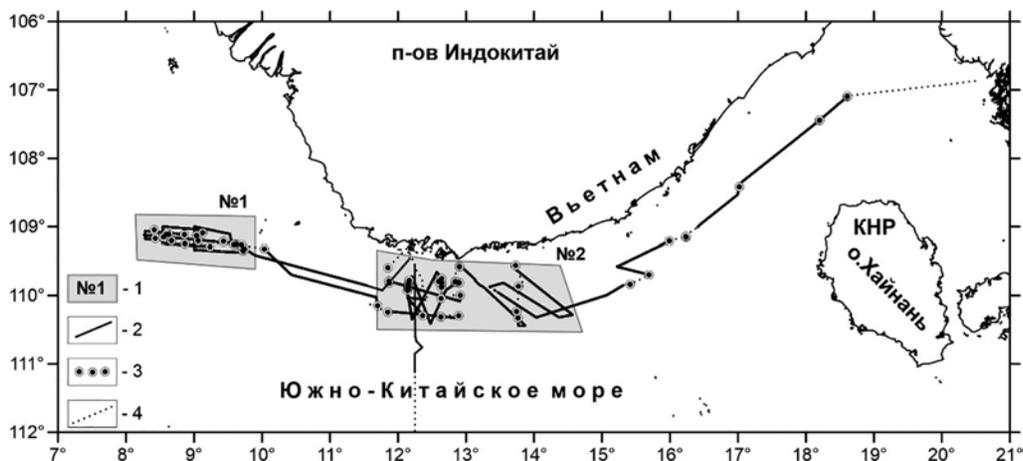


Рис. 1. Карта экспедиционных исследований в Южно-Китайском море на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс 88. Сост. М.Г. Валитов.

1 – полигоны работ, 2 – профили геофизической съемки, 3 – комплексные океанологические станции, 4 – маршрут движения судна

графических, газогеохимических, геомикробиологических, гидрооптических, газогеохимических, гидроакустических характеристик толщи вод и осадочных отложений, поиск индикаторов минеральных ресурсов, выяснение вопросов палеогеографии, геоэкологии и атмосферии.

В экспедиции участвовали специалисты ТОИ ДВО РАН (24 сотрудника, из них 3 доктора наук, 6 кандидатов наук, 4 аспиранта, 1 студент ДВФУ), 10 сотрудников из научных организаций Вьетнама: 8 из ВАНТ (Институт морской геологии и геофизики, Институт геологических наук, Институт морских ресурсов и окружающей среды, Институт океанографии), 1 из Центра планирования и исследования морских ресурсов МПР и 1 из Центра мониторинга морской окружающей среды ВМФ СРВ. Молодые ученые составили 70 % от участников экспедиции, некоторые впервые приняли участие в морских работах.

Перед началом совместных исследований судно посетило порт Нячанг и приняло на борт вьетнамских коллег. Встреча в Нячанге была организована на традиционно высоком уровне, присутствовали представители прессы и телевидения Вьетнама, возглавлял церемонию проф. Нинь Кэй Бан (Ninh Khac Ban), руководитель международного отдела ВАНТ.

Несмотря на сложные гидрометеорологические условия (сильный ветер и течения, волнение до 4–6 баллов), слаженные действия научного состава экспедиции и экипажа позволили выполнить большой объем комплексных исследований за 18 суток (из них на штормование пришлось 0,5 сут, на стоянки в портах – около 5 сут). Работа шла с соблюдением плана-программы исследований, ей не помешали даже тайфуны, которые в этот сезон идут один за одним со стороны Филиппинского моря. За время экспедиции пройдено более 7016 миль, измерены гидролого-гидрохимические параметры (температура, электропроводность, интенсивность флуоресценции, растворенный кислород) в поверхностном слое моря с использованием проточной системы, проведены попутные гравиметрические, гидрологические, гидрооптические, газогеохимические и метеорологические наблюдения, оценен поток метана в атмосферу (еще в конце перехода Владивосток – Корейский пролив молодыми исследователями была подготовлена и отправлена в печать работа по комплексным попутным наблюдениям в Японском море (см. статью А.А. Легкодимова с соавт. в данном номере «Вестника ДВО РАН», с. 59), выполнено более 2197 погонных миль акустического зондирования толщи вод и батиметрической съемки дна (н.с. А.В. Стороженко), 2326 миль гравиметрической и 1559 миль магнитометрической съемки (руководитель геофизического отряда зав. лабораторией гравиметрии к.г.-м.н. М.Г. Валитов).

Геологическое опробование донных осадков успешно произведено на 65 станциях на глубинах от 50 до 2400 м. Поднято 49 кернов отложений общей длиной 110,25 м. Было отобрано и проанализировано 56 шлихов шлама керна осадочных отложений (исполнитель – аспирант 1-го года В.Ю. Калгин, ТОИ ДВО РАН).

На протяжении более 6400 км с помощью лазерных газоанализаторов с горизонта 14 м над ур. м. получено: 5895 5-минутных измерений по углекислому газу и 6183 5-минутных значений по метану; на уровне 7 м – 2754 измерения по углекислому газу и 3042 – по метану. Эти исследования проведены в сотрудничестве с кафедрой почвоведения ШЕН ДВФУ (зав. кафедрой к.б.н. О.В. Нестерова), в рейсе непосредственно измерениями и их обработкой занималась инженер лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН, магистрант 2-го курса ДВФУ М.А. Бовсун (в 2019 г. в морских экспедициях ДВО РАН она провела более 100 сут).

Для гидрологических исследований (руководитель отряда зав. сектором А.А. Воронин) выполнено более 40 станций, отобраны пробы на микробиологический, газогеохимический, химический анализы, а также методом лазерно-искровой спектроскопии определены гидрооптические компоненты. Дополнительно выполнено 24 станции зондирования профилографом SBE 19 plus с определением флюоресценции и концентрации рассеянного органического вещества в верхнем 100-метровом и определением содержания кислорода в поверхностном 4-метровом слоях толщи вод (к.ф.-м.н. А.В. Буланов).

Отдельно стоит отметить работу палубной команды под руководством н.с. А.К. Окулова, газогеохимического отряда, безостановочно выполнявшего аналитические работы начиная с выхода из Владивостока и вплоть до возвращения в родной порт (аналитики м.н.с. Д.А. Швалов и вед. инженер Е.В. Лифанский), а также аспиранта 1-го года Д.С. Максеева, который в сложных условиях был оператором сразу трех лебедок.

В качестве основных предварительных научных результатов экспедиции можно выделить следующее: обнаружены признаки новых углеводородных скоплений, получены доказательства наличия минеральных индикаторов твердых полезных ископаемых в шельфовых отложениях, выявлен перспективный участок формирования скоплений железо-марганцевых корок (рис. 2) в зоне влияния протяженного разлома, по которому мигрируют метан и сероводород. Интересные результаты получены на борту при изучении различных свойств глубоководных мелкодисперсных карбонатно-глинистых осадков. Осадочные отложения были пластично-текучими, светло-серыми, не имели запаха. По геохимическим характеристикам они очень похожи на грязевулканическую брекчию грязевых вулканов, которая, как известно, находит применение в бальнеологии и косметологии. Образцы этих осадочных отложений подвергаются ряду соответствующих тестов в специализированных лабораториях. Во Вьетнамской академии наук и технологий в настоящее время поддержан локальный проект по выявлению полезных свойств этих осадков (руководитель проекта – участник экспедиции аспирант Ле Дык Лен из Института геологических наук ВАНТ, соруководители – д-р Нгуен Хоан (Nguyen Hoang) и д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров). Сделано предположение об отнесении их к самостоятельному виду минеральных



Рис. 2. Железомарганцевые корки (станция LV88-9GC).
Фото В.Ю. Калгина

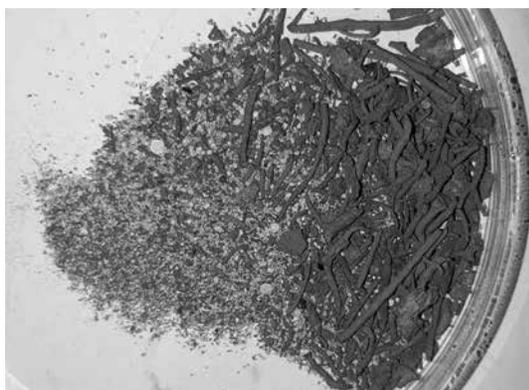


Рис. 3. Шлих со станции LV88-21/1GC. Фото В.Ю. Калгина

ресурсов континентального шельфа и склона Вьетнама.

В экспедиции собраны шлихи с обильными проявлениями сульфидной (преимущественно марказит) (рис. 3), карбонатной и других форм аутигенной минерализации.

Выявлены потоки метана и ртути в атмосферу, в том числе имеющие поисковое значение. По результатам лазерной газовой съемки в приводном слое атмосферы был отчетливо проявлен нефтегазоносный бассейн на южном привьетнамском шельфе. Во всех районах исследования обнаружены метаноокисляющие, нефтеокисляющие

(рис. 4) и сульфатредуцирующие, в том числе глубоководные, бактерии по латерали и вертикали осадочной толщи.

Получены новые данные об аномалиях гравитационного и магнитного полей вдоль шельфа и склона Вьетнама, выявлено сложное морфотектоническое строение осадочного бассейна Фухань. В осадочных отложениях на разных горизонтах зафиксированы проявления основных седиментологических процессов, некоторые керны осадков содержат свидетельства наличия гипоксидной обстановки на материковом склоне Центрального Вьетнама, раскрыты новые особенности палеогеографии шельфа и склона СРВ (например, в Тонкинском заливе обнаружены латеритные осадки древнего берега), составлены фотокаталог и описание кернов осадков. На центральном склоне Вьетнама (осадочный бассейн Фухань) был обнаружен необычный органоминеральный агрегат, сложный по химическому составу (рис. 5) кроме того, на этой же станции, – сразу три группы бактерий, а также метан и сероводород в аномальных концентрациях.

Сероводород был зафиксирован в отдельных кернах осадка и в других районах исследований. По сравнению с Японским и Охотским морями зоны активной дегазации дна на привьетнамском шельфе и склоне имеют локальный характер распространения, хотя интенсивность газогеохимических аномалий в них

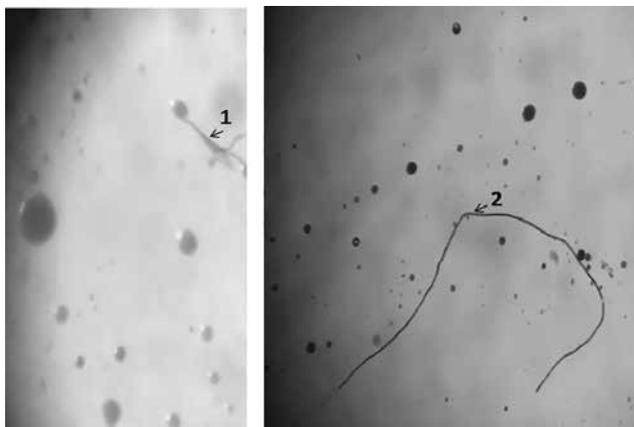


Рис. 4. Образование биопленок (1, 2) нефтеокисляющими бактериями из осадочных отложений. Фото А.И. Еськова

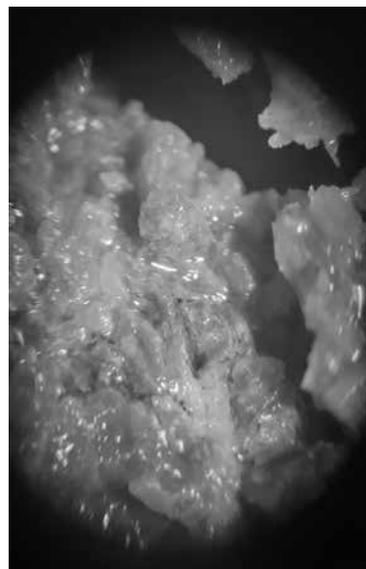


Рис. 5. Органоминеральный агрегат, обнаруженный (А.А. Легкодимов) на континентальном склоне бассейна Фухань (Центральный Вьетнам). Фото В.Ю. Калгина

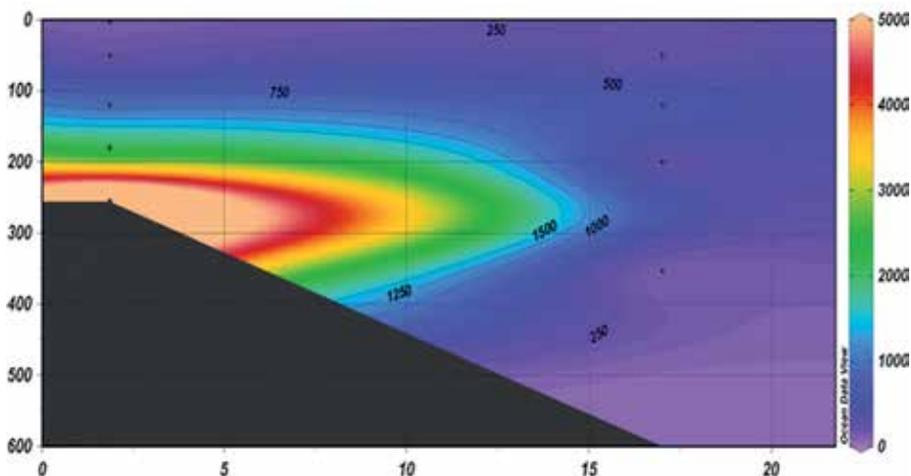


Рис. 6. Аномалия метана в толще вод шельфа и склона Южного Вьетнама. По оси абсцисс – расстояние (км), по оси ординат – глубина моря (м), на шкале цветом и цифрами показаны концентрации метана (нл/л). *Выполнил А.А. Легкодимов*

сопоставима с аналогичными зонами в дальневосточных морях России. В толще вод впервые найдены аномальные поля метана (до 7000 нл/л, рис. 6), сравнимые с обнаруженными на нефтегазоносном шельфе и газогидратоносном склоне о-ва Сахалин.

В осадках южного района методом вакуумной дегазации обнаружены высокие – от 0,015 до 0,25 мл/дм³ – концентрации метана, это в 10–100 раз больше фоновых значений. Кроме метана, обнаружены его гомологи (этан, пропан, бутан) и углекислый газ, которые являются важными индикаторами геологических структур и процессов.

Экспресс-анализ результатов измерений атомарной ртути Hg(0) в воздухе (н.с. М.В. Иванов, лаборатория геохимии осадочных процессов ТОИ ДВО РАН) на различных полигонах показал, что ее содержания в основном находятся в пределах регионального фона и составляют около 2 нг/м³. Повышенные концентрации были отмечены в южной части района работ и вблизи о-ва Хайнань. Максимальные концентрации (до 25 нг/м³) на двух уровнях были зарегистрированы на подходе и в самом порту г. Хайфон (Вьетнам). При измерении потока ртути с помощью оригинальной камеры, позиционируемой на поверхности воды, показатели возрастали до 4–6 нг/м³. В целом в воздухе над континентальным шельфом и склоном Вьетнама концентрации этого металла не превышали ПДК (300 нг/м³).

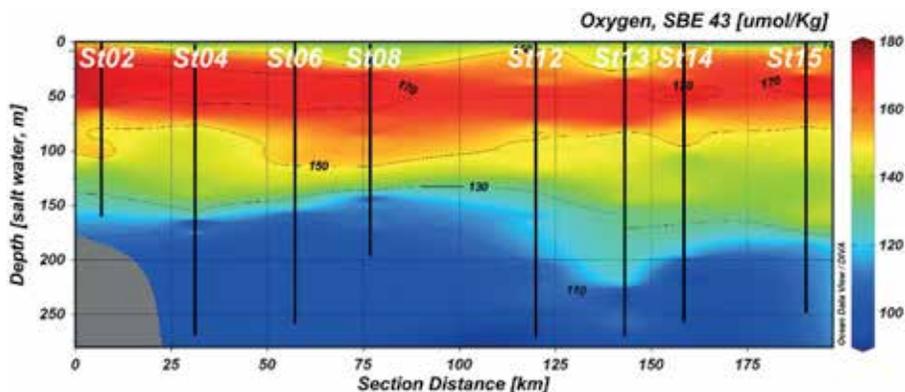


Рис. 7. Пример распределения содержания растворенного кислорода по глубине. *Выполнила Н.А. Литинская*

Был получен ценный массив данных по распределению температуры, солености, кислорода (рис. 7), мутности, флюоресценции и растворенного органического вещества в толще вод, охарактеризована гидрологическая структура вод привьетнамского шельфа и склона в осенне-зимний период.

Гравимагнитная съемка в центральной и южной частях шельфа и материкового склона Вьетнама дополнила геофизические данные, полученные в 80–90-х годах прошлого столетия, детализированы геофизические аномалии и обнаружены новые.

В экспедиции выполнялось непрерывное акустическое зондирование морского дна и исследования обратного рассеяния звука в толще вод (рис. 8), что дало возможность уточнить рельеф в районе исследований, обеспечить гравимагнитную съемку данными о профиле дна и получить уникальный материал для акустических исследований гидрологических, гидродинамических, биологических и других характеристик толщи вод.

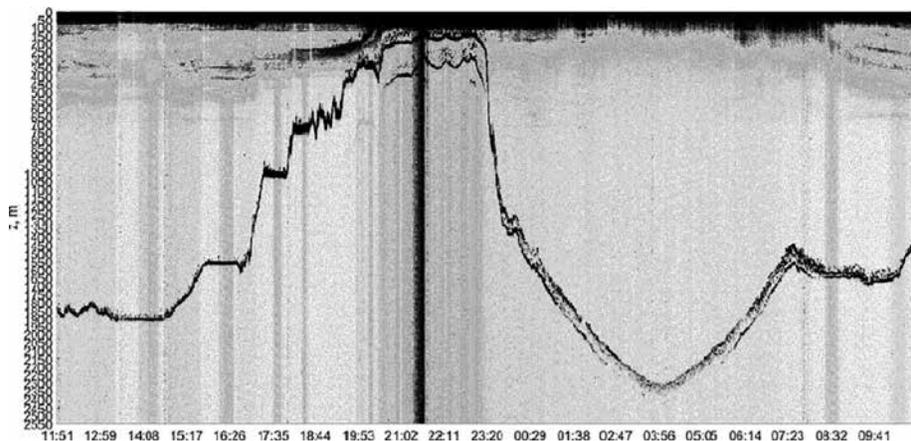


Рис. 8. Суточные вариации звукорассеивающего слоя в Южно-Китайском море. По оси абсцисс время (часы:минуты), по вертикали – глубина моря (м). *Выполнил А.В. Стороженко*

Коллеги из Вьетнама – коллектив молодых ученых, некоторые из них уже давно сотрудничают с ТОИ ДВО РАН по сериям локальных грантов и совместных публикаций – проявили себя как отличные специалисты и надежные товарищи, работавшие в одном режиме с российскими участниками экспедиции. Руководителем с вьетнамской стороны был д-р Нгуен Чун Тхань (Nguyen Trung Thanh), седиментолог. Вьетнамская группа отобрала представительную коллекцию проб осадочных отложений, которая является очень ценной для них. Полученные образцы позволят коллегам детально исследовать особенности осадконакопления, минералогии, геохимии и палеоокеанологии совместно со специалистами ТОИ ДВО РАН.

Вьетнамцы были включены в отряды, соответствующие их специальностям. Важно отметить, что коллеги из Вьетнама впервые участвовали в экспедиционных исследованиях на научном судне такого класса. Для них экспедиция стала научно-практической школой. Например, молодой специалист Ле Дык Лен (Le Duc Luong) работал вместе с д.г.-м.н. А.И. Обжировым по отбору проб осадков для извлечения из них газа на специальной установке. За время экспедиции он изучил метод и мог выполнять исследования уже самостоятельно. Отдельно хотелось бы отметить научного сотрудника Института морской геологии и геофизики Ле Дык Аня (Le Duc Anh), который, имея за плечами обучение в Уральском горном университете и десятилетний стаж совместной с россиянами работы, обеспечивал взаимодействие российской и вьетнамской групп, а также выполнял геологические работы наравне с сотрудниками ТОИ ДВО РАН. Очень результативно работал специалист из Института морских ресурсов и окружающей среды (Хайфон) д-р Зан Хоаи Нен (Dang Hoai Nhon), который отобрал представительную коллекцию осадочных отложений

для геоэкологических исследований, в том числе анализа тяжелых металлов. Вьетнамские специалисты из других организаций также выполнили намеченные планы.

Одновременно с морскими проведены **сопровождающие береговые геологические работы** (ст. инженер лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН Т.С. Якимов) и **магнитотеллурические исследования** (руководитель зав. лабораторией электрических и магнитных полей ТОИ ДВО РАН к.г.-м.н. В.М. Никифоров) в рамках двух проектов ДВО РАН – ВАНТ. В ходе прибрежных исследований на определенных участках были собраны шлихи с кристаллами турмалинов и других минералов, а также впервые закартирована зона метаморфизма и обнаружены проявления кварца на о-ве Катба (рис. 9). Это очень важный результат, поскольку считалось, что на этом острове нет проявлений эндогенных, магматических процессов и кварца. Ранее в водных источниках нами были зафиксированы аномалии метана и углекислого газа, в которых обнаружен необычно «тяжелый» по изотопному составу углерод; наличие эндогенного очага может это объяснить. Магнитотеллурическими исследованиями в этом районе были установлены глубинные зоны проницаемости. Эти результаты дополнили морские исследования. В экспедиции приняли участие 6 сотрудников новой лаборатории комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов, созданной в ТОИ ДВО РАН в рамках нацпроекта «Наука».



Рис. 9. Шлих с темно-зелеными турмалинами (а), хлорит-кварцевый метасоматит (б) и кристалл кварца (в) с о-ва Катба. Обнаружил ст. инж. Т.С. Якимов

Работы в Южно-Китайском море завершили 25 ноября в порту Хайфон, где «Академика М.А. Лаврентьева» встретили делегации ДВО РАН во главе с председателем академиком РАН В.И. Сергиенко и ВАНТ во главе с ее президентом проф. Чау Ван Минем (Chau Van Minh). Гости посетили научно-исследовательское судно, познакомились с участниками экспедиции и обсудили с ними результаты проекта, вручили подарок – картину, выполненную в традиционном стиле лаком, изображающую старый город в Ханое, с памятной надписью. Ответным подарком президенту ВАНТ стали образцы глубоководного карбонатного тонкодисперсного осадка, который, вероятно, может быть применим в народном хозяйстве после соответствующих анализов и сертификации как бальнеологическое, косметическое и/или минеральное сырье.

В здании Президиума ВАНТ прошло совещание, ученые доложили основные результаты совместного рейса, которые получили высокую оценку руководства ДВО РАН и ВАНТ.

После совещания был организован тур по Ханюю с посещением первого университета Вьетнама (известен как Храм литературы), а в конце дня успешное завершение экспедиции отпраздновали в замечательном культурном комплексе на берегу Красной реки, наблюдая представление национального театра кукол на воде.

...Разумеется, жизнь ученого не исчерпывается только работой, и память хранит много интересных событий, которые делают незабываемой и неповторимой каждую экспедицию. В редкое свободное время между вахтами (работы шли круглосуточно) участники экспедиции занимались спортом, играли в шахматы, пели песни под гитару, успешно рыбачили, Анатолий Иванович Обжиров играл на мандолине, Алексей Буланов вел кружок

вальса и сальсы, а Константин Крамчанин организовал постоянную выставку минералов из личной коллекции. Короткие стоянки участники экспедиции использовали для посещения городов Нячанг, Хайфон, Ханой, островов Винперл и Катба, где осматривали достопримечательности, купались, путешествовали на мотобайках и играли в волейбол.

В рейсе регулярно проводились научные семинары, а при переходе домой состоялась пятидневная научная конференция, посвященная итогам выполненной экспедиции, современным методам и результатам комплексных исследований в западной части Тихого океана. Доклады представили как опытные ученые (А.И. Обжиров, В.Т. Съедин, С.П. Плетнев, Н.М. Цовбун, М.Г. Валитов), так и молодые.

Случались и забавные моменты. У участников экспедиции была возможность приобрести любые экзотические фрукты. Естественно, были те, кто купил дуриан (из-за своего «аромата» запрещен к перевозке авиалиниями). Один из плодов дуриана был оставлен в самой большой судовой лаборатории, и утром мы долго не могли разобраться, откуда идет и чем вызван тяжелый запах. Сам дуриан довольно вкусный, очень полезный, имеет интересное послевкусие, но есть его надо на свежем воздухе. А еще, выполняя пожелание к.д.п. В.Б. Птушкина, который не смог участвовать в экспедиции, в Хайфоне на судно был доставлен длинный багор из бамбука.

К сожалению, в экспедиции имели место форс-мажорные ситуации. Так, в середине работ на винт судна намоталась рыболовная сеть. Но в научном составе и экипаже были опытные дайверы Андрей Стороженко и Илья Фулосан (третий механик), срезавшие сеть и освободившие винт, предотвратив перерыв в исследованиях.

Серьезной технической проблемой была неисправность и, по заключению судовладельца, непригодность к ремонту глубоководного судового эхолота. Исключительно силами сотрудников лаборатории гидрофизики ТОИ ДВО РАН (зав. лабораторией д.ф.-м.н. В.А. Буланов) в кратчайшие сроки был собран аппаратно-программный комплекс, который подсоединили к излучателю судового эхолота, тем самым обеспечив безопасность работ и выполнение плана-программы экспедиции. НИС «Академик М.А. Лаврентьев» включен в список на модернизацию научно-исследовательского флота РАН, что дает надежду на оснащение судна новым оборудованием. Мероприятия по модернизации являются крайне важными в связи с предстоящими председательством РФ в международном Арктическом совете и наступлением объявленного ООН Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития (Декада океана).

Думаем, что экспедиция имела также и социальный эффект, особенно для коллег из СРВ. Например, в экспедициях вьетнамских коллег-геологов не участвуют женщины. Причины приводятся разные, до самых курьезных. Но после нашего рейса, в котором активно участвовали российские девушки-ученые, вьетнамские руководители пообещали, что в следующий раз будут задействованы представительницы прекрасного пола из Вьетнамской академии наук и технологий.

Позади еще один плодотворный и яркий период жизни. Начальник геологического отряда к.г.-м.н. В.Т. Съедин посвятил экспедиции замечательное стихотворение «Вслед уходящему рейсу»:

*Ноябрь уж за бортом. Уходит рейс! Уходит!
Что в памяти о нем мы сохраним, друзья?
Я знаю, что потом – в житейском хороводе,
Мы будем вспоминать, что позабыть нельзя.
Пусть для кого-то рейс по жизни самый первый,
А кто-то их число считать давно устал,
Но всем хоть на чуть-чуть он потревожил нервы,
Для всех он, черт возьми, частичкой жизни стал!
Забудутся, поверь, печали и невзгоды;
Проблемы бытия и долгий путь домой...
Ты будешь вспоминать закаты и восходы,*

И яркий солнца луч над синей водой.
 Ты будешь вспоминать волну до небосклона,
 Барашков пенный вальс и звонкий свист снастей;
 Запомнишь навсегда ты пальмы у затона,
 Заходов суету и теплый круг друзей!
 Забудутся навек, лишь подойдешь к причалу,
 Заботы судодня и пустота ночей!
 Как плохо было спать, когда во сне качало,
 Побудку в семь ноль-ноль и таинство огней.
 Останется лишь то, устроена так память,
 Что на душу легло, над суетой скользя,
 И только иногда, и только временами
 Ты будешь вспоминать, что позабыть нельзя!!!
 У каждого о рейсе своя осталась память,
 И каждый свой сюжет на сердце сохранит:
 Кто тур по островам, кто встречи во Вьетнаме,
 Ханойский ресторан или VINPEARLa вид.
 Все это было, было и больше не вернется –
 Безоблачное небо, безбрежный океан...
 Остался за кормою, как первое знакомство,
 Клочок зеленой суши – тропический Вьетнам.
 Мы разные совсем ступили на «Лаврентьев»:
 Начальник, аспирант и инженер простой...
 Но как бы ни был путь наш в будущем изменчив,
 Нас рейс объединил невидимой рукой.
 Теперь на берегу при встрече в коридоре
 Ты будешь ощущать невольно и всегда
 Невидимую нить, что выткало нам море
 И что связала нас на долгие года.



Участниками экспедиции был разработан логотип совместной экспедиции, автор идеи к.г.-м.н. Ю.А. Телегин, руководитель отряда газогеохимии. В настоящее время он возвращается в составе экспедиции РАН на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) из Южного океана, где выполнял газогеохимические исследования, в порт Калининград

Научный состав благодарит капитана дальнего плавания С.С. Складярова и экипаж за помощь в успешном выполнении запланированных в экспедиции исследований. НИС «Академик М.А. Лаврентьев» имеет прекрасные мореходные качества, что позволяет вести исследования практически в любую погоду. Научный состав признателен помощнику капитана по РЭ О.Н. Струку за оперативное и бесперебойное обеспечение метеосводками, электронной и телефонной связью. Следует отметить, что на судне исправно работала система кондиционирования, температурные условия для участников экспедиции и оборудования были оптимальными. Отдельная благодарность ТБФ ИО РАН и Минобрнауки РФ за обеспечение рейса и содействие в решении вопросов организации экспедиции. Особая благодарность МИД РФ, руководству Вьетнамской академии наук и технологий и ДВО РАН, Министерству природных ресурсов и соответствующим ведомствам Социалистической Республики Вьетнам за оперативную работу по оформлению документов и процедур, необходимых для проведения экспедиции.

Фотодневник экспедиции



Научный состав экспедиции и экипаж 88-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Фото предоставил Д.А. Швалов



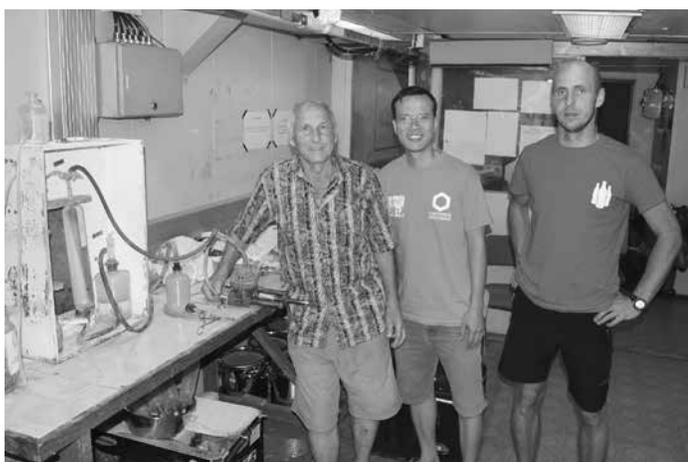
Встреча экспедиции в порту Нячанг. Фото предоставил А.И. Обжиров

Посещение НИС «Академик М.А. Лаврентьев» совместной делегацией ДВО РАН и Вьетнамской академии наук и технологий в порту Хайфон. Слева направо: проф. Нинь Кэй Бан, академик РАН В.В. Богатов, академик РАН В.И. Сергиенко, президент ВАНТ проф. Чау Ван Минь, д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров. Фото руководителя сектора международных отношений президиума ДВО РАН М.Б. Штец



Подъем геологического гравитационного колонкового пробоотборника. Фото предоставил А.И. Обжиров

Группа сотрудников в экспедиции работала по дегазации – извлечению газа из донных осадков и воды, слева направо: Анатолий Обжиров, Ле Дык Лен, Юрий Телегин. На столе расположены дегазационные установки. Фото предоставил А.И. Обжиров



Научные сотрудники Ле Дык Ань, Алексей Легкодимов и Алена Еськова оперативно обрабатывают полученные данные. Фото предоставил Р.Б. Шакиров





Участники совещания в конференц-зале Президиума Вьетнамской академии наук и технологий. Фото руководителя сектора международных отношений президиума ДВО РАН
М.Б. Штец

Отбор проб воды



Отбор газогеохимических проб из керна осадочных отложений. Фото предоставил Р.Б. Шакиров

Фрагмент керна осадочных отложений с обильными проявлениями гидротроилита (индикатор биогенной сульфатредукции)





Молодые ученые ТОИ ДВО РАН и Будда. Нячанг. *Фото предоставила Н.А. Липинская*



Остров Каг Ба. Участники экспедиции, используя время на стоянке, играют в волейбол. *Фото предоставил М.В. Иванов*

На всем протяжении рейса участники экспедиции успешно ловили рыбу, чаще всего это были корифена, тунец, попадались морской лещ, рыба-сабля и вака. *Фото предоставил А.И. Обжиров*

УДК 001.83:54+92

DOI: 10.37102/08697698.2020.211.3.016

А.А. ХИСАМУТДИНОВ

Геолог Эдуард Анерт: «держаться возможно ближе к истине»

Представлена научная биография геолога Эдуарда Эдуардовича Анерта (1865–1946), внесшего огромный вклад в геологическое исследование российского Дальнего Востока и северо-восточного Китая. В 1895 г. он начал исследования вдоль Транссибирской магистрали, а позднее продолжил их в Приморье, на Сахалине и в Маньчжурии. Анерт основал Дальневосточный геологический комитет, организовал комплексное изучение минеральных ресурсов региона. Эмигрировав в Китай, он продолжил исследования в районах, прилегающих к Китайско-Восточной железной дороге, стал соучредителем Общества изучения Маньчжурского края и его музея (ныне – музей Хэйлунцзянской провинции). Результатом его многолетней деятельности на Дальнем Востоке стала публикация более двухсот научных трудов, многие из которых не потеряли актуальности и сегодня. В статье использованы материалы архивов и библиотек США и Китая.

Ключевые слова: Э.Э. Анерт, история геологии, Дальгеолком, русские в Харбине, Общество изучения Маньчжурского края, русские геологи в Китае.

Geologist Eduard Ahnert: «Stay as close to the truth as possible». A.A. KHISAMUTDINOV (Central Scientific Library, FEB RAS, Vladivostok).

This article presents the scientific biography of the geologist Eduard Eduardovich Ahnert (1865–1946), who contributed much to the geological research in the Far East, both Russian Far East and the Northeast China. Having begun his research along the Trans-Siberian Railway in 1895, he continued his work in Primorye, Sakhalin, and Manchuria. Ahnert established the Far Eastern Geological Committee and succeeded in organizing a comprehensive study of the regional mineral resources. Having emigrated to China, he continued his research along the Sino-Eastern Railway, became a co-founder of the Society for the Study of Manchuria and its museum (now the museum of the Heilongjiang Province). His multi-year activity in the Far East resulted in more than two hundred scientific publications, many of them have not lost their relevance today. Writing the article the author used materials from foreign archives and libraries of USA and China.

Key words: E.E. Ahnert, history of geology, Dalgeolkom, Russians in Harbin, Society for the Study of Manchuria, Russian geologists in China.

Геологу Эдуарду Эдуардовичу Анерту – первооткрывателю уникальных для своего времени месторождений и автору большого числа публикаций по геологии Дальнего Востока – 13 (25 – по старому стилю) июля 2020 г. исполняется 155 лет со дня рождения. Имя этого геолога широко известно. О жизни и научной деятельности Анерта несколько статей опубликовал его ученик – В.Н. Жернаков [8–10]. Биография ученого на основе его личного архива описана в статье Ю.В. Бельчич [7] (личный архив Э.Э. Анерта с 1958 г. хранился в Архиве внешней политики МИД СССР, позднее в Архиве Министерства геологии СССР, в 1987 г. был передан в Российский государственный архив экономики). Личность и работа Анерта на Дальнем Востоке привлекала внимание и других исследователей Дальневосточного региона [11, 13]. Вместе с тем в указанных публикациях недостаточно сведений о его деятельности за рубежом в период эмиграции, что связано с отсутствием этой информации в российских архивах. Немало материалов о геологе – его

Хисамудинов Амир Александрович – доктор исторических наук, заведующий отделом научно-исследовательской работы (Центральная научная библиотека ДВО РАН, Владивосток). E-mail: khisamut@yahoo.com



Эдуард Эдуардович Анерт. Харбин, 1929. Фото из Музея русской культуры (МРК) в Сан-Франциско, США

публикации, статьи о нем в периодической печати – имеется в США, куда переехали коллеги и ученики Анерта.

Эдуард Анерт родился 25 июля 1865 г. в крепости Новогеоргиевской (Польша), где служил его отец, военный инженер Эдуард Готлиб фон Анерт, выходец из Саксонии. Дед по линии матери, Иды Луизы Матильды фон Баумгартен, родом из земли Гессен, тоже был военным инженером. Неудивительно, что Эдуард после Неплюевской военной гимназии (Оренбург) продолжил учебу в Александровском кадетском корпусе в Санкт-Петербурге. Однако военная карьера не прельщала юношу, и он поступил в Санкт-Петербургский горный институт Екатерины II, который окончил в 1889 г. О дальнейшей работе Э.Э. Анерт написал в автобиографии: «Поступил на службу на Мальцевские (чугуноплавильные, железо деятьельные, сталелитейные и механические, стекольные, фаянсовые, хрустальные и пр. заводы, где с 1890 по 1892 г. заведовал «шахтой», то есть добычей железной руды и огнеупорной глины, заведовал заводом огнеупорных кам-

ней для печей и пр., и вел разведку на эти ископаемые. В 1893 г. производил разведки на каменный уголь около станции Гришино, в западной части Донецкого бассейна, и стал первым, кто открыл здесь промышленный пласт каменного угля» (Музей русской культуры в Сан-Франциско. Автобиография Эдуарда Адольфа фон Анерта, горного инженера и геолога).

Строительство Транссибирской магистрали предопределило жизнь геолога на многие годы. После недолгой службы в лаборатории Министерства финансов (1893–1895 гг.) его назначили старшим инженером по горно-геологическим изысканиям Амурской железной дороги. В 1896 г. Императорское Русское географическое общество (ИРГО) направило Э.Э. Анерта и ботаника В.Л. Комарова, будущего президента Академии наук СССР, в Маньчжурию. Это был совершенно неизученный край, сведения о нем требовались для проектирования одного из участков Транссиба – Китайско-Восточной железной дороги (КВЖД). Подробнейший отчет Анерта об экспедиции 1896–1898 гг. был сдан в печать уже в 1900 г., но по разным причинам его публикация задержалась на четыре года. «Отчет этот, – писал в предисловии автор, – состоит из маршрутного геологического описания страны с попутными обобщениями, географической и геологической карты и заключения в виде обзора карты. Материалами служили, кроме путевых записей, коллекция пород из тысячи трех сот с лишним номеров и съемки маршрутов, как наши, так и другие, пока не использованные» [5, с. 1]. В 1904 г. Анерт получил за этот труд Большую медаль ИРГО им. Пржевальского.

По пути в Маньчжурию через Владивосток и с. Никольское (ныне – г. Усурийск) Анерт впервые увидел Приморье. В 1898 г., вернувшись из экспедиции, он стал членом Общества изучения Амурского края (ОИАК) во Владивостоке. На следующий год свои

исследования Анерт продолжил в Корее. После этих двух экспедиций вся жизнь учено-геолога была связана с Дальним Востоком. В 1899 г. он начал разведку полезных ископаемых в зоне КВЖД и в 1901 г. описал Чжалайнорское буроугольное месторождение, открытое им совместно с горным инженером Н.Н. Бронниковым. В начале XX в., будучи прикомандированным к Геологическому комитету, Анерт провел масштабные экспедиции по Амурской области и южным районам Якутии, выполняя задания по разведке золотоносных месторождений и проекту строительства еще одной ветки Транссиба – прообраза будущей Байкало-Амурской магистрали. В то время он был членом комиссии по рассмотрению проектов строительства новых железных дорог при Железнодорожном департаменте Министерства финансов и одновременно инженером-экспертом Комитета по золоту- и платинопромышленности Министерства торговли и промышленности.

В 1907 г. Анерт организовал геологическую экспедицию на Сахалин, в результате было открыто несколько новых месторождений угля и нефти. В 1913–1917 гг. по поручению Геологического комитета в должности начальника партии Эдуард Эдуардович возглавил комплексное исследование полезных ископаемых Приморья (Сучанский угольный бассейн, серебро-свинцово-цинковое месторождение Тетюхэ, железо- и золоторудные месторождения). В 1911 г. Анерт получил статус геолога высшего разряда, что в России того времени приравнивалось к самому высокому ученому званию – ординарному профессору. В 1915 г. он стал действительным статским советником, что соответствовало генеральскому званию.

Признанный знаток геологии российского Дальнего Востока, Анерт был пожизненным почетным и действительным членом многих научно-технических обществ России, в том числе ИРГО, Вольно-Экономического, Минералогического, Палеонтологического. Его приглашали экспертом в Петроградский окружной суд по тяжбам между золотопромышленниками, Междуведомственную комиссию по разбору претензий русских владельцев концессий в Маньчжурии к китайскому правительству, инженерный совет Министерства путей сообщения по проходу и строительству туннелей. В комиссии Государственной думы Анерт выступал по поводу строительства Сахалинского порта, а с 25 апреля по 25 октября 1917 г. он был членом Особого горного совещания по реорганизации Горного ведомства и составлению нового проекта Горного устава. Между совещаниями в 1915–1916 гг. читал лекции по физической и экономической географии на Отдельных гардемаринских курсах в Петрограде.

Революции и Гражданская война не отвлекли геолога от полевых работ. В мае 1918 г. Геологический комитет командировал его на Дальний Восток. Добираясь туда через объятую Гражданской войной Россию, Анерт, «желая сохранить приоритет русских в деле изучения страны», принял предложение Министерства торговли и промышленности при правительстве адмирала Колчака работать в Совете Верховного уполномоченного по делам Дальнего Востока.

Приехав во Владивосток, Анерт задумал учредить при ОИАК Кабинет геологов, работающих в крае. К 1918 г. во Владивостоке собралось немало геологов и горных инженеров, которые не смогли вернуться в европейскую часть России после экспедиций или прибыли на Дальний Восток, спасаясь от Гражданской войны. Оторванные войной от Геологического комитета в Петрограде, они уже имели опыт создания самостоятельных геологических организаций (в 1918 г. был создан, в частности, Сибирский геологический комитет в Томске) [17, с. 125].

Председатель ОИАК предложил Анерту составить проект будущей организации, и тот разработал Положение о геологической секции ОИАК (Архив ОИАК. Ф. 1. Оп. 1. Д. Смета прихода и расхода средств ОИАК на 1919 г. Л. 5–10). Новое объединение вначале называлось Соединенным совещанием членов Дальневосточной секции Геологического комитета и Кабинета-музея Сибирского геологического комитета, а с мая 1920 г. стало именоваться Дальневосточным геологическим комитетом (Дальгеолкомом). Его первым директором избрали Анерта, имевшего опыт руководства Дальневосточной секцией

Русского геологического комитета (1915–1919 гг.). Задачи новой организации он изложил в программной статье, опубликованной в первом номере печатного органа Дальгеолкома – в журнале «Материалы по геологии и полезным ископаемым Дальнего Востока». «Кое-что для изучения богатств края уже сделано, – отмечал Анерт, – но еще несравненно более предстоит сделать. Количественно богатства эти в громадном большинстве случаев еще не могут быть определены, качественно же – в очень многих случаях, но, конечно, лишь для уже известных месторождений. Между тем во всем крае, кроме Южно-Уссурийского и Сахалина, неизвестных месторождений, надо думать, не менее, чем уже обнаруженных» [6, с. 12].

Несмотря на проблемы с финансированием и сложную политическую обстановку, когда власть менялась едва ли не каждый месяц, сотрудникам Дальгеолкома удалось охватить исследованиями наиболее важные в геологическом отношении районы Дальнего Востока. Только в 1920 г. в «Материалах по геологии и полезным ископаемым Дальнего Востока» увидели свет десять публикаций коллег Анерта, а на следующий год – 14. Исследования Анерта по-прежнему были связаны с Маньчжурией. Большую работу, в частности, он провел на Мулинских угольных копях, исследуя геологические факторы, формирующие физико-механические свойства угля, и сделал вывод о возможности организации здесь крупномасштабной добычи. В дальнейшем по заказу Мулинского углепромышленного товарищества им был осуществлен детальный анализ месторождения.

В сентябре 1922 г. Э.Э. Анерт совместно с другими исследователями учредил в Харбине Общество изучения Маньчжурского края (ОИМК). Задумывая создать полновесное научно-просветительское общество с музеем и библиотекой, русские харбинцы взяли за основу владивостокское Общество изучения Амурского края, позаимствовав отчасти и название. Благодаря именно этой организации начались естественнонаучные исследования в северо-восточной части Китая. «Деятельность ОИМК развивалась при его ближайшем содействии», – писали об Анерте современники [10, с. 4]. По его инициативе и под его руководством с 1 июля 1924 г. при ОИМК стала работать секция геологии и физической географии, а в музее появился подотдел геологии. «Придавая большое значение народождению нашего Музея, как исследовательской ячейки для интересов даже недалекого будущего, – отмечал Анерт, – для интересов даже узко-практических дороги и страны, я горячо приветствую это явление... и приношу искреннее же пожелание процветания в будущем обоим учреждениям на пользу не только общекультурного и материального преуспеяния Китая и России, но и как средство обеспечения прочности и дружелюбного сотрудничества двух великих народов Старого континента» [15, с. 5]. Через ОИМК Анерт издал несколько своих трудов, в том числе и одну из важнейших работ – «Полезные ископаемые Северной Маньчжурии» [4].

Предчувствуя большие трудности в Советской России, в июле 1924 г. Анерт окончательно уехал в Харбин, сложив с себя обязанности председателя Дальгеолкома (Гос. архив Хабаровского края. Ф. 830. Оп. 3. Д. 73419. Л. 4). Подводя итоги своей деятельности на этом посту, он сообщал: проведены геологические исследования в Приморье и на линии КВЖД, их результаты обобщены в научных трудах, сохранена недвижимость – дом № 7 по ул. Федоровской во Владивостоке. Позднее в этом доме поселится друг Анерта и второй председатель Дальгеолкома Петр Игнатьевич Полевой (1873–1938), а после него – известный путешественник Владимир Клавдиевич Арсеньев (сегодня здесь размещен мемориальный дом-музей В.К. Арсеньева). Дальгеолком же переедет в здание ОИАК по ул. Петра Великого, дом № 4.

Ко времени отъезда Анерта в Харбин Дальгеолком уже лишился некоторых сотрудников. Не вернулись из командировок в США Павел Павлович Гудков (1879–1955, Лос-Анджелес, США) и геохимик Таисия Максимовна Стадниченко (1894–1958), уехали в Америку Иннокентий Павлович Толмачев (1872–1950, Пенсильвания, США), Максим Конрадович Елиашевич (1889–1982, Эльянс, США) [16]. Некоторое время все они числились в Дальгеолкоме внештатными сотрудниками. В течение лета и осени 1924 г. Анерт



Музей Хэйлунцзянской провинции (бывший музей Общества изучения Маньчжурского края) в Харбине, где хранилась и хранится геологическая коллекция Э.Э. Анерта. *Фото А.А. Хисамутдинова. Фото внизу – вид музея в начале 1930-х годов (из архива МРК)*

выполнял поручение Дальгеолкома по исследованию районов восточной части КВЖД: изучал, в частности, обширный юрский угленосный бассейн по среднему течению р. Му-рени. Продолжением этой работы стала служба геологом-консультантом в управлении КВЖД. До 1931 г. Анерт осуществлял геологические работы и картирование в обширном районе вдоль КВЖД, а также в районе угольного месторождения Бадаохэ, к северу от ст. Дагушань Мукден-Пекинской железной дороги, и давал рекомендации по разведке угля в Эрлунгоу.

С коллегами из Владивостока и В.Л. Комаровым, спутником по первой экспедиции в Маньчжурию, Анерт встретился в 1926 г. на III Всетихоокеанском научном конгрессе

в Токио. Его приглашали и для участия во Всероссийских съездах по прикладной геологии, маркшейдерскому делу. Он поддерживал тесные связи с Африканом Николаевичем Криштафовичем (1885–1953) и другими учеными из СССР. В 1927 г. издательство «Книжное дело» предложило Анерту напечатать его фундаментальную монографию «Богатства недр Дальнего Востока», подготовленную для журнала «Поверхность и недра» еще в 1917 г. [1]. Понимая, что некоторые сведения рукописи устарели, Анерт попросил российских коллег Ивана Александровича Преображенского (1878–1956) и Петра Ивановича Алексеевского (1870–?) дополнить ее современными данными. Сам он приезжал в Советскую Россию, где уже раскручивались репрессии, не захотел, но регулярно посылал коллегам результаты своих исследований в Китае, включая информацию о маршрутах. В дальнейшем из-за репрессий в отношении российских ученых эти контакты прекратились. Переписывался Анерт и со своими коллегами в США, бывшими членами Дальгеолкома Т.М. Стадниченко, П.П. Гудковым и М.К. Елиашевичем, а приезжая в Японию, встречался с другим выпускником Горного института – Петром Петровичем Веймарном (1879–1935, Шанхай, похоронен в Кобе).

Поддержка коллег из СССР, Германии, Америки, Японии помогла Анерту в трудный период его жизни. В июле 1928 г., работая в зоне КВЖД по поручению Мулинского угольного товарищества, геолог подвергся вооруженному нападению хунхузов и был ранен в ногу. Своими переживаниями по поводу осложнений и невозможности работать он делился в письмах с Н.Н. Тихоновичем [7, с. 165].

В 1929 г. Анерт отказался от советского гражданства. «Обстановка в СССР стала таковой, – писал он 30 мая в Геологический комитет ВСНХ СССР, – что стал возможен Шахтинский процесс. Все это делает для меня весьма тягостным продолжать пребывать по паспорту гражданином СССР, делает равным самоубийству возвращение в пределы последней... Поэтому убедительно прошу Вас безотлагательно возбудить от Геологического комитета... вопрос о лишении меня гражданства СССР. Это будет хорошим подарком Вашим к истекшему 40-летию моего инженерства и 35-летию моей геологической работы» [7, с. 165]. В 1930 г. он принял германское подданство, рассчитывая, вероятно, перебраться к родным в Берлин, но остался в Харбине.

После оккупации Маньчжурии японцами Анерт консультировал японские власти по вопросам геологии и горного дела. В 1931 г. его назначили заместителем начальника Первой экспедиции Института изучения культурного развития Особого района восточных провинций и начальником ее геологического отряда, а с 1934 г. Анерт был советником Геологического института Южно-Маньчжурской железной дороги, заведывая одновременно научной частью Научно-исследовательского института Северной Маньчжурии, который в том же году был преобразован в Харбинскую лабораторию, вошедшую в структуру Континентального института научного исследования в Маньчжу-Ди-Го.

В одной из своих книг о горной промышленности Маньчжурии Анерт изложил принципы, которыми руководствовался в работе: «Всегда и во всех случаях жизни я задавался целью держаться возможно ближе к истине и не вводить никого в заблуждение, и мои экспертизы и суждения уже издавна считаются весьма осторожными и в то же время достаточно определенными для деловых людей, проектирующих начать какое-либо горное дело, но вместе с тем требующие таких подсчетов и таких соображений о постановке и перспективах дела, которые были бы основаны на действительности и на действительных фактах, а не на допущениях или выведенных из добытых лишь с помощью спекулятивных рассуждений “данных”» [2, с. 1–2].

При любой возможности Анерт старался передавать свой опыт молодому поколению. Он не был профессиональным преподавателем, но обладал даром рассказчика, и ему часто предлагали читать лекции. Свои силы на этом поприще он снова попробовал в 1920 г., когда в Харбине открылся Русско-китайский технический колледж, через два года переименованный в Русско-китайский политехнический институт, а в ноябре 1928 г. получивший свое нынешнее название – Харбинский политехнический институт (ХПИ). Хотя в нем не

было геологической специализации, программа института включала ряд смежных дисциплин. Анерту нередко приходилось прерывать лекции из-за полевых работ, тем не менее он относился к преподаванию очень серьезно, оставив после себя курсы лекций по физической географии, геологии и горному делу Маньчжурии. В 1937 г. Эдуард Эдуардович читал лекции на горно-металлургическом факультете ХПИ.

Анерт участвовал в организации Харбинских горно-химических классов, созданных Александром Петровичем Гантимуровым-Кузнецовым (1880–1947) и утвержденных в 1927 г. Департаментом народного просвещения [12]. Вначале на них готовили горных техников с дипломами департамента. Затем курсы преобразовали в Харбинский горный техникум, который взял за основу программы горных институтов в Санкт-Петербурге и Екатеринославле. Как и большинство русских учебных заведений в Харбине, техникум был частным и не получал никакой финансовой помощи от государства. Анерт вел в нем занятия по геологии. Там же преподавал и его молодой русский коллега, будущий советский ученый Андрей Максимилианович Смирнов (1908–1984, Владивосток), окончивший в 1930 г. Горный институт в Ленинграде. Некоторое время Анерт читал лекции и в Харбинском горнотехническом техникуме, открытом при Институте Святого Владимира и преобразованном позднее в химический факультет.

Анерта часто можно было видеть среди молодежи. Неслучайно он оказался среди учредителей Клуба естествознания и географии – молодежной научно-общественной организации при Христианском союзе молодых людей (ХСМЛ) в Харбине (апрель 1929–1946 г.). Одно время был даже председателем этого клуба. «Значение этого научного Общества, – писал Анерт, – не в полевых работах и не в кабинетной обработке материалов, на это у общества нет средств, а в том, что это – аудитория, в которой исследователи обмениваются результатами своих работ и приобретенным опытом, а также научными новостями как местного, маньчжурского, так и общего значения» [3, с. 24]. Клуб издавал свой ежегодник, первый том которого вышел под редакцией Анерта в 1934 г. Его высылали для обмена в научные учреждения разных стран [14, с.16], благодаря чему многие выпуски «Известий Клуба естествознания и географии ХСМЛ» сохранились до сего дня.

В 1920–1930-е годы имя геолога Э.Э. Анерта было широко известно в научном мире. Он был почетным членом-корреспондентом Национальной геологической службы Китая в Пекине (1929 г.), членом Международного комитета по геологическому изучению хребтов, окружающих Тихий океан (с 1934 г.), Американского географического общества в Нью-Йорке. В 1931 г. его избрали членом Международного географического конгресса в Париже, в 1933 г. – членом Международного геологического конгресса в Вашингтоне, куда он послал доклад «Zonale Verteilung der Erzlagerstätten in der Mandschurei», который перевели на японский язык, а в 1939 г. стал членом VI Тихоокеанского научного конгресса в Сан-Франциско.

Как отмечалось выше, после оккупации Маньчжурии Японией Анерт консультировал японские власти по вопросам геологии и горного дела. В 1933 г. он совершил поездку в Японию, где в Токио и Осака читал лекции о горных ресурсах Маньчжурии. Вместе с японскими коллегами он принимал участие в составлении Горно-геологического словаря на русском и японском языках. Одновременно он работал над русско-немецко-английско-японским Словарем научных и технических терминов по геологии, физической географии, минералогии, петрографии, геофизике, геохимии и другим смежным отраслям.

Анерт, занимаясь геологическими исследованиями, обращал внимание на археологические находки. Он давно заметил, что почти все месторождения Приморья и Маньчжурии, открытые в современную эпоху, особенно «неглубокие и не слишком водоносные», носили следы древних разработок [2, с. 3].

Все свободное время Анерт проводил в музее бывшего ОИМК, перешедшем после закрытия общества в подчинение Департамента народного просвещения. При департаменте в январе 1931 г. создали Научно-исследовательский институт Особого района восточных провинций. Анерт принял участие в первой научной экспедиции этого института.

По материалам экспедиции была составлена общая схема геологического и орографического строения Северной Маньчжурии, одного из наименее исследованных регионов Мира. В музее в 1930-е годы существовали следующие отделы: естествознания (подотделы геологии, палеонтологии, почвоведения, ботаники и зоологии), этнографии, археологический и торгово-промышленный. При музее имелись большая научная библиотека, читальный зал и архив местной печати.

Приказом правительства Маньчжурской империи от 1 января 1937 г. музей (заведующий А.С. Лукашкин) стал частью Харбинского отделения Государственного научно-исследовательского института «Да-Лу», подчинявшегося палате министров. Одним из отделов музея, геологическим, заведовал Э.Э. Анерт. Рамки научной и экспедиционной деятельности при этом были расширены, предусматривалось существенное пополнение библиотеки.

В 1937 г. Анерт побывал в Мюнхене по случаю избрания его почетным членом-корреспондентом Германской академии наук (Deutsche Akademie). Был он и почетным доктором естествознания Кёнигсбергского университета. В 1939 г. друзья и ученики торжественно отметили пятидесятилетний юбилей творческой деятельности Э.Э. Анерта. Один из них писал: «Следует остановиться на одном качестве Эдуарда Эдуардовича, может быть, особенно ценном для нас, его современников... За огромной эрудицией скрывается необыкновенно простой, скромный и отзывчивый человек» [8, с. 15].

В 1945 г. после поражения Германии и ее союзника на Дальнем Востоке Японии, не имея сведений из Берлина от родных, восьмидесятилетний ученый, работавший тогда библиотекарем, решил вернуться в СССР. 11 декабря Анерта приняли в Генеральном консульстве СССР в Харбине, где он высказал желание вернуть утраченное им советское гражданство. В заявлении Генеральному консулу Анерт писал: «... ныне на Западе меня никто не ждет, ибо едва ли кто из немногих близких уцелел. Лишь в СССР реально есть близкие по духу и работе коллеги, которые, как мне стало известно по многим посещениям меня геологами, гидрологами, инженерами и пр., пришедших сюда с Армией, еще дружески и с уважением ко мне относятся. Посему мне место – среди них» [7, с. 165].

Известному дальневосточному геологу И.И. Берсеневу, который посетил Анерта в 1945 г. «в пыльном, чужом Харбине и в весьма стесненных условиях», ученый запомнился большим одиноким стариком без средств к существованию. Э.Э. Анерт скончался от водянки 25 декабря 1946 г. [10, с. 4]. За свою жизнь геолог опубликовал около двухсот работ по географии, геологии и горному делу российского Дальнего Востока и Северо-Восточного Китая (Маньчжурии). Большинство из них были переведены на иностранные языки и изданы в Германии, Голландии, Китае, США, Франции и Японии.

Автор благодарит заместителя председателя Музея русской культуры в Сан-Франциско Ива Франкбена за помощь в поиске материалов об Э.Э. Анерте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анерт Э.Э. Богатства недр Дальнего Востока. Хабаровск; Владивосток: Кн. дело, 1928. 932 с.: 30 карт, 30 схем.
2. Анерт Э.Э. Горная промышленность Маньчжурии / изд. авт. Харбин, 1934. 306 с.
3. Анерт Э.Э. К истории исследований и горного дела в Маньчжурии // Изв. Клуба естествознания и географии ХСМЛ. Харбин, 1941. С. 16–26.
4. Анерт Э.Э. Полезные ископаемые Северной Маньчжурии. Харбин: Отд-ние тип. КВЖД, 1928. 236 с.: 43 ил., карты, табл., схемы, библиогр., список изд. ОИМК, рекл.
5. Анерт Э.Э. Путешествие по Маньчжурии. СПб.: Тип. Имп. акад. наук, 1904. 566 с., [4] л. цв. карт, ил. (Зап. ИРГО; т. 35).
6. Анерт Э.Э. Что сделано и что остается выполнить в области геологического изучения русского Дальнего Востока и его рудных богатств. Владивосток, 1920. 26 с. (Материалы по геологии и полезным ископаемым Дальнего Востока; № 1).
7. Бельнич Ю.В. Эдуард Анерт. Страницы биографии (по материалам личного архива ученого) // Россия и современный мир. 2004. – <https://cyberleninka.ru/article/n/eduard-anert-stranitsy-biografii-po-materialam-lichnogo-arhiva-uchenogo> (дата обращения: 06.02.2020).

8. Жернаков В. Полвека на изучение Восточной Азии: к юбилею научной и исследовательской деятельности проф. Э.Э. Анерга // Рубеж. 1939. № 50 (9 дек.). С. 14–15; портрет.
9. Жернаков В.Н. Эдуард Эдуардович Анерт: к пятидесятилетию научной и практической деятельности (1889–1939) // Изв. Клуба естествознания и географии ХСМЛ. Харбин, 1941. С. 1–15.
10. Жернаков В. Э.Э. Анерт – исследователь русского Дальнего Востока и Северной Маньчжурии (к 20-летию со дня смерти) // Русская жизнь. Сан-Франциско. 1967. 8 янв.
11. Кириллов Е. Неизвестный Анерт: записки из опыта архивных разысканий. Хабаровск, 1993. 102 с.
12. Курсы прикладных знаний // Политехник: юбилейный сб. 1969–1979. Sydney, 1979. № 10. С. 131–132.
13. Ремезовский В.И. Первый состав Дальгеолкома и становление геологического образования на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1999. 264 с.: библиогр. (175 назв.).
14. Рычкова В. Юбилей клуба любителей естествознания и географии при ХСМЛ в Харбине // Рубеж. 1939. № 16 (15 апр.). С. 15–16: фотогр.
15. Торжественное заседание Общества изучения Маньчжурского края 12 июня 1923 г. (В день открытия музея и выставки) // Бюл. Музея О-ва изучения Маньчжур. края и юбилейной выставки КВЖД. Харбин, 1923. № 1 (июнь). С. 4–5.
16. Хисамутдинова Н.В. Из Владивостока – в эмиграцию: судьбы дальневосточных профессоров // Вестн. Кемеров. гос. ун-та. 2015. № 2 / 6 (62). С. 309–312.
17. Хисамутдинова Н.В. Уральский горный институт во Владивостоке // Изв. Урал. гос. горн. ун-та. 2016. № 3 (43). С. 123–126.

*Подписка на журнал «Вестник Дальневосточного отделения РАН»
принимается всеми отделениями «Роспечати» с любого номера.
Индекс 70193.*

*Полнотекстовые варианты статей можно найти в Интернете:
<http://elibrary.ru/issues.asp?id=2774>*

Ответственный за номер Г.И. Долгих
Номер подготовили к печати В.С. Жердев,
С.А. Машкин, Л.А. Русова, В.Е. Старовойтова, Т.А. Третьякова
Компьютерный набор Г.А. Веренцовой
Компьютерная верстка И.В. Миромановой
Корректор Л.И. Горбулина
Переводчик Е.В. Фёдорова

Адрес редакции:
690091 Владивосток,
ул. Светланская, 50, к. 51,
тел. (423)222-25-88
E-mail: vestnikdvo@hq.febras.ru
<http://www.vestnikdvo.ru>

Издатели:

ФГБУ Дальневосточное отделение РАН
690091 Владивосток, ул. Светланская, 50.
Тел. +7(423)222-25-28
ФГБУНО Центральная научная библиотека ДВО РАН
690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159.
Тел. +7(423)231-78-38

Выход в свет 29.06.2020 г.
Формат 70 × 108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. 14,18
Уч.-изд. л. 12,9
Тираж 300 экз. Заказ ИВ 200398
Цена свободная

ИП Сердюк Оксана Александровна
690065 Владивосток, ул. Стрельникова, 12-87.
Тел. +79147102232. E-mail: oksanaserdiuk62@gmail.com

Отпечатано в ООО «ПСИ95»
г. Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС77-75560 от 12.04.2019 г.

Индекс 70193

